

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені Ігоря Сікорського”

В. І. Солодкий, Д. О. Красновид,
О. А. Плівак

ОСНОВИ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ РІЗАННЯМ

*Затверджено Вченою радою
КПІ ім. Ігоря Сікорського
як підручник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітніми програмами технічного спрямування*

КПІ ім. Ігоря Сікорського
Київ – 2019

Рецензенти: Пермяков О. А. – д-р техн. наук, Харківський
 політехнічний інститут.

 Луців І. В. – д-р техн. наук, Тернопільський
 національний технічний університет
 імені Івана Пулюя.

Відповідальний Охріменко О. А. – д-р техн. наук, Київський
редактор політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського.

*Гриф надано Вченою радою КПП ім. Ігоря Сікорського
(протокол №2 від 11.02.2019 р)*

Електронне мережне навчальне видання

*Солодкий Валерій Іванович, канд. техн. наук, доц.
Красновид Дмитро Олександрович, канд. техн. наук, доц.
Плівак Олександр Анатолійович, інж.*

ОСНОВИ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ РІЗАННЯМ

Основи формоутворення поверхонь різанням [Електронний ресурс] : підручник для студентів технічних спеціальностей / В. І. Солодкий, Д. О. Красновид, О. А. Плівак. – Електронні текстові дані (1 файл 14,3 Мбайт). — Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 440 с.

Розглянуто конструктивні та геометричні параметри різального інструмента, питання економічної доцільності застосування окремих інструментів, описані сучасні інструментальні матеріали, особливості кожного інструмента та галузь його застосування. Подано відомості, щодо поновлення працездатності кожного інструмента та додаткові відомості про інструментальні системи та приклади спеціальних конструкцій. Може бути корисним студентам та викладачам під час проведення навчальних занять.

Для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів та фахівців спеціальності 131 – “Прикладна механіка”.

© В. І. Солодкий, Д. О. Красновид, О. А. Плівак
© КПП ім. Ігоря Сікорського (ММІ), 2019

ДО МАЙБУТНЬОГО БАКАЛАВРА

Слово “бакалавр” уперше згадується в формі “бакалавреї” у 1758 році.

Походить від середньовічного лат. *baccalaureus*, що означає – “бідний або молодий лицар, власник маєтку”.

Цей підручник є першою сходинкою до набуття ступеню “бакалавр” та опанування знань у галузі інструментальних систем.

Зміст

Частина I ЕКОНОМІКА РІЗАННЯ 22

1 ЕКОНОМІКА РІЗАННЯ	23
1.1 Продуктивність	23
1.2 Парадокси собівартості	24
1.3 Припуски	26
1.4 Точність оброблення	28
1.5 Шорсткість оброблення	30
1.6 Питання для самоконтролю	32

Частина II ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ 33

2 СТАЛІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ	34
2.1 Вуглецеві сталі	34
2.2 Низьколеговані сталі	36
2.3 Швидкорізальні сталі	37
2.3.1 Сталі нормальної продуктивності	38
2.3.2 Сталі підвищеної продуктивності	40
2.4 Питання для самоконтролю	43
3 ТВЕРДІ СПЛАВИ	44
3.1 Група ВК	44
3.2 Група ТК	45
3.3 Група ТТК	47
3.4 Маркування твердого сплаву	47
3.5 Виготовлення твердого сплаву	48
3.6 Питання для самоконтролю	50
4 АБРАЗИВНІ МАТЕРІАЛИ	51
4.1 Зернистість абразиву	51
4.2 Електрокорунди	52
4.3 Карбіди	54
4.4 Кубічний нітрид бору	55
4.5 Алмази	56
4.6 Застосування абразивів	57
4.7 Питання для самоконтролю	59

5 ПЕРСПЕКТИВНІ МАТЕРІАЛИ 60

5.1	Покриття	60
5.2	Мінералокераміка	61
5.3	Полікристалічні надтверді матеріали	64
5.4	Питання для самоконтролю	65

Частина III РІЗАННЯ МЕТАЛІВ 66**6 ПРОЦЕС РІЗАННЯ 67**

6.1	Загальні визначення	67
6.2	Схеми різання	72
6.3	Елементи різального леза	74
6.3.1	Передня поверхня леза	75
6.3.2	Задні поверхні леза	76
6.3.3	Кромки леза	77
6.3.4	Координатні площини	78
6.3.5	Кути різального леза	79
6.4	Поверхня різання	82
6.5	Елементи різання	82
6.5.1	Глибина різання	83
6.5.2	Подача	84
6.5.3	Швидкість різання	85
6.5.4	Зрізуваний шар	86
6.5.5	Напрямок сходу стружки	89
6.6	Питання для самоконтролю	92

7 СТРУЖКА 93

7.1	Основи різання	93
7.2	Типи стружки	95
7.3	Утворення стружки	97
7.4	Деформація стружки	98
7.4.1	Графічне вивчення	99
7.4.2	Фізичні явища різання	100
7.5	Утворення наросту	104
7.6	Усадка стружки	107
7.6.1	Укорочення (усадка) стружки	107
7.6.2	Потовщення стружки	112
7.7	Питання для самоконтролю	113

8 СИЛИ РІЗАННЯ	114
8.1 Теоретичні положення	114
8.2 Вплив типу оброблення на сили	117
8.3 Питання для самоконтролю	120
9 ТЕПЛОВІ ПРОЦЕСИ	121
9.1 Теплові потоки	121
9.2 Градієнт температури	123
9.3 Вимірювання температури	124
9.3.1 Калориметр	124
9.3.2 Термопара	126
9.3.3 Точіння	127
9.3.4 Свердління	129
9.4 Питання для самоконтролю	132
10 ЗНОС ІНСТРУМЕНТІВ	133
10.1 Типи зносу	134
10.2 Інтенсивність зносу	136
10.3 Питання для самоконтролю	138
Частина IV ТОЧІННЯ	139
11 ОБРОБЛЕННЯ ТОЧІННЯМ	140
11.1 Конструкційні параметри	140
11.2 Геометричні параметри	142
11.3 Питання для самоконтролю	149
12 ТИПИ РІЗЦІВ	150
12.1 Вимоги до конструкції різця	152
12.2 Різці збірної конструкції	153
12.3 Вітчизняні різці	163
12.4 Закордонні різці	167
12.5 Відрізні та канавкові різці	171
12.6 Різці з вставками з надтвердих матеріалів	176
12.7 Ротаційні різці	186
12.7.1 Конструкції ротаційних інструментів	190
12.7.2 Різальна частина ротаційного інструмента	192
12.8 Питання для самоконтролю	197

Частина V ОБРОБЛЕННЯ ОТВОРІВ 198

13 СВЕРДЛА 199

13.1	Конструктивні елементи свердла	200
13.2	Геометричні параметри	204
13.3	Покращення свердла	210
13.4	Проектний розрахунок	212
13.5	Допуски на виготовлення	214
13.6	Застосування свердел	215
13.7	Елементи режимів різання	216
13.8	Поновлення працездатності	219
13.9	Свердла для глибоких отворів	223
13.10	Кільцеве свердло	226
13.11	Свердла автоматизованого виробництва	226
13.12	Питання для самоконтролю	232

14 ЗЕНКЕРИ 233

14.1	Типи зенкерів	233
14.2	Конструктивні елементи	238
14.3	Схема різання	241
14.4	Геометричні параметри зенкера	242
14.5	Допуски на виготовлення	243
14.6	Елементи режимів різання	244
14.7	Поновлення працездатності	248
14.8	Питання для самоконтролю	250

15 РОЗВЕРТКИ 251

15.1	Конструкція розвертки.	252
15.2	Геометричні параметри	256
15.3	Типи розверток	259
15.4	Проектування розверток	263
15.5	Елементи режимів різання	268
15.6	Додаткові відомості	272
15.7	Питання для самоконтролю	274

Частина VI ФРЕЗЕРУВАННЯ 275

16 ФРЕЗИ 276

16.1	Класифікація	278
16.2	Призначення фрез	278

16.3	Набори фрез	287
16.4	Конструктивні параметри	288
16.5	Геометричні параметри	291
16.6	Затиловані фрези	292
16.7	Допуски на виготовлення	296
16.8	Елементи режимів різання	297
16.9	Поновлення працездатності	299
16.10	Додаткові відомості	304
16.11	Питання для самоконтролю	307
17	ФРЕЗИ ЧЕРВ'ЯЧНІ	308
17.1	Ідея евольвентного зачеплення	309
17.2	Елементи зубчастого зачеплення	311
17.3	Принцип роботи	313
17.4	Конструктивні елементи	313
17.5	Геометричні параметри	316
17.6	Поновлення працездатності	317
17.7	Додаткові відомості	318
17.8	Питання для самоконтролю	324
Частина VII	УТВОРЕННЯ РІЗЬБ	325
18	РІЗЬБА	326
18.1	Утворення різьби	326
18.2	Елементи різьби	327
18.3	Класифікація різьб	330
18.4	Методи утворення різьбових поверхонь	331
18.5	Питання для самоконтролю	332
19	РІЗЬБОВИЙ ІНСТРУМЕНТ	333
19.1	Різьбонарізні різці і гребінки	333
19.2	Мітчики	335
19.2.1	Типи мітчиків.	336
19.2.2	Схеми зняття припуску	341
19.2.3	Конструктивні елементи	344
19.3	Різьбонарізні плашки	351
19.4	Різьбові фрези	354
19.5	Різьбонарізні головки	355
19.6	Питання для самоконтролю	358

20 ШЛІФУВАННЯ РІЗЬБ	359
20.1 Шліфування одонитковим кругом	359
20.2 Шліфування багатонитковим кругом	360
20.3 Питання для самоконтролю	362

21 ПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМУВАННЯ РІЗЬБ	363
21.1 Накатування плоскими плашками	365
21.2 Накатування роликами	366
21.3 Накатування з повздовжнім переміщенням	367
21.4 Накатування внутрішніх різьб	368
21.5 Питання для самоконтролю	369

Частина VIII АБРАЗИВНИЙ ІНСТРУМЕНТ 370

22 АБРАЗИВНИЙ ІНСТРУМЕНТ	371
22.1 Знос та відновлення	372
22.1.1 Відновлення	372
22.1.2 Знос	373
22.2 Характеристики інструмента	375
22.3 Маркування	383
22.4 Вибір	384
22.5 Кріплення	387
22.6 Випробування та балансування	389
22.7 Відновлення працездатності	390
22.8 Загострення різального інструмента	393
22.9 Питання для самоконтролю	395

Частина IX КОДУВАННЯ ІНСТРУМЕНТА 396

23 ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ	397
23.1 Твердість	397
23.1.1 Твердість за Бринелем	397
23.1.2 Твердість за Роквеллом	399
23.1.3 Співвідношення твердості	400
23.2 Оброблюваність	402
23.3 Математичні залежності	403
23.4 Питання для самоконтролю	404

24 МАТЕРІАЛИ	405
24.1 Оброблюваний матеріал	405
24.2 Питання для самоконтролю	409
25 ВИДИ ОБРОБЛЕННЯ	410
25.1 Умови оброблення	411
25.2 Питання для самоконтролю	412
26 МАРКУВАННЯ ПЛАСТИН	413
26.1 Точіння	413
26.1.1 Маркування інструмента	413
26.1.2 Зачисні пластини	419
26.1.3 Призначення пластин	420
26.1.4 Відрізання	422
26.1.5 Нарізування різьби	424
26.2 Фрезерування	424
26.2.1 Галузь застосування	424
26.2.2 Тип інструмента	426
26.2.3 Рекомендації щодо фрезерування	429
26.3 Свердлування	429
26.3.1 Геометричні параметри	431
26.4 Питання для самоконтролю	433
27 ПРОБЛЕМИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ	434
27.1 Проблеми точіння	434
27.2 Проблеми фрезерування	436
27.3 Проблеми свердлування	438
27.4 Питання для самоконтролю	439
Список літератури	440

Список ілюстративного матеріалу

1.1	Технологічно досяжна шорсткість	31
6.1	Операція різання [8]	68
6.2	Види різання	70
6.3	Схеми різання	72
6.4	Вільне ортогональне різання	73
6.5	Поверхні леза	75
6.6	Різальний клин	75
6.7	Елементи різця	76
6.8	Перехідні елементи	76
6.9	Координатні площини	78
6.10	Кут нахилу різальної кромки	80
6.11	Проекція різальної кромки	81
6.12	Кути у плані	81
6.13	Поверхні свердління	82
6.14	Елементи різання	83
6.15	Зміна ширини та товщини стружки	88
6.16	Нахил різальної кромки	90
6.17	Напрямок сходу стружки	91
7.1	Діаграма розтягування	94
7.2	Сітка зсуву	95
7.3	Типи стружки за ДСТУ 2246-93	96
7.4	Площина сколювання	97
7.5	Площина зрушення	97
7.6	Випереджальна тріщина	98
7.7	Корені стружки з координатною сіткою [5]	99
7.8	Деформації [5]	101
7.9	Розподіл мікротвердості у зоні деформацій	103
7.10	Наріст	105
7.11	Наріст на твердому сплаві	106
7.12	Утворення та зрив наросту	107
7.13	Укорочення стружки	108
8.1	Сили різання за Зворикінім	115
8.2	Сили різання за ДСТУ 2249-93	116
9.1	Теплові потоки [4]	122
9.2	Гradient температури	123
9.3	Термопара	126
9.4	Термопара Усачова	127
9.5	Природна термопара	128

9.6	Температура при свердлінні	129
10.1	Знос по передній поверхні	133
10.2	Знос по передній та задній поверхням	133
10.3	Знос по задній поверхні	134
10.4	Типи зносу різального леза	135
10.5	Залежність зносу від часу роботи інструмента	137
11.1	Конструктивні елементи токарного різця	140
11.2	Поверхні токарного різця	141
11.3	Координатні площини при точінні	144
11.4	Координатні площини відрізного різця	145
11.5	Координатні площини фасонного різця	145
11.6	Координатні площини прохідного різця	146
11.7	Геометричні параметри різця	146
11.8	Різець у статичній системі координат	147
11.9	Вимірювання кута нахилу різальної кромки	148
12.1	Види токарних різців	150
12.2	Прохідний токарний різець	151
12.3	Підрізний різець	151
12.4	Відрізний різець	151
12.5	Розточувальний різець	151
12.6	Фасонний різець	151
12.7	Швидкорізальні різці збірних конструкцій	153
12.8	Різці з механічним кріпленням пластин	155
12.9	Різець з механічним кріпленням алмаза	157
12.10	Різець з багатогранною пластиною	157
12.11	Різець з ексцентричним штифтом	159
12.12	Різець з тягою	159
12.13	Різець зі змінною пластиною	160
12.14	Різець конструкції T-MAX	161
12.15	Різець для автоматичних ліній	162
12.16	Різець збірний	162
12.17	Різець типу С з негативним переднім кутом	163
12.18	Різець типу С з позитивним переднім кутом	163
12.19	Різця типу Р	164
12.20	Різець типу М	164
12.21	Різець за схемою закріплення S	166
12.22	Різець T-MAX Р з закріпленням клин-прихватом	168
12.23	Різець T-MAX U-LOCK з гвинтовим закріпленням	168
12.24	Різець T-MAX S з Г-подібним прихватом	170
12.25	Різець T-MAX для точіння по копіру	170

12.26	Відрізні різці	172
12.27	Різець для важких верстатів	172
12.28	Відрізний різець з підвищеною вібростійкістю	173
12.29	Відрізний збірний різець	174
12.30	Збірний відрізний різець	175
12.31	Канавковий збірний різець	175
12.32	Різьбовий збірний різець	175
12.33	Напайні різці	177
12.34	Різці з механічним кріпленням вставок	178
12.35	Різці з механічним кріпленням пластин	178
12.36	Різець з пружним затискним елементом	179
12.37	Різець з кубічним нітридом бору	186
12.38	Схеми ротаційного точіння матеріалів	189
12.39	Ротаційні різці на підшипниках кочення	192
12.40	Кріплення різальної частини	194
12.41	Різець для ротаційного різання	195
12.42	Ротаційний різець з підведенням ЗОТС	195
13.1	Свердлування	199
13.2	Робота свердла	199
13.3	Стандартне спіральне свердло	201
13.4	Різальна частина свердла	203
13.5	Серцевина свердла	203
13.6	Серії свердел:	204
13.7	Геометричні параметри свердла:	205
13.8	Передній кут	207
13.9	Розподіл кутів	209
13.10	Елементи свердлування	216
13.11	Схема заточування свердла по конусу	220
13.12	Загострення свердла по прямому конусу	221
13.13	Загострення свердла по зворотному конусу	222
13.14	Свердло для глибоких отворів:	223
13.16	Змінна різальна частина свердла	224
13.17	Схема змінної частини свердла	224
13.15	Рушничне свердло	225
13.18	Кільцеве свердло	226
13.19	Схема свердла автоматизованого виробництва:	227
13.20	Свердло із змінними пластинами	228
13.21	Свердло корпорації TaeguTec	229
13.22	Свердло корпорації Karnasch	230
13.23	Свердло модульного типу	231

14.1	Зенкерування	233
14.2	Зенкер цільний	234
14.3	Зенкер насадний	235
14.4	Оправка насадного зенкера	236
14.5	Циліндричний зенкер	238
14.6	Зенкер конічний	238
14.7	Зенкер ступінчастий	238
14.8	Елементи циліндричного зенкера	239
14.9	Схема різання	241
14.10	Геометричні параметри зенкера	242
14.11	Елементи зенкерування	245
14.12	Заточування зенкера	248
15.1	Розвертування	251
15.2	Розвертка машинна	252
15.3	Розвертка ручна	253
15.4	Робоча частина розвертки	254
15.5	Кутовий крок зубців	255
15.6	Профіль канавок розвертки	256
15.8	Отримання заднього кута	257
15.7	Геометричні параметри розвертки	258
15.9	Розвертка розтискана	260
15.10	Розвертка розсувна	261
15.11	Машинна розсувна розвертка	261
15.12	Конічна розвертка для штифтів	262
15.13	Конус Морзе	262
15.14	Конічні розвертки Морзе	264
15.15	Допуски розвертки	264
15.16	Елементи розвертування	268
16.1	Оброблення фрезеруванням	276
16.2	Фрезерування	277
16.3	Фреза цільна циліндрична	278
16.4	Фреза збірна циліндрична	278
16.5	Типи фрез	279
16.6	Робота фрези	280
16.7	Фреза торцева	280
16.8	Різновиди дискових фрез	281
16.9	Фреза дискова збірна	282
16.10	Кріплення різальної пластини	282
16.11	Цільні дискові фрези	283
16.12	Фреза прорізна	283

16.13 Фреза дискова кутова	284
16.14 Фреза дискова фасонна	284
16.15 Фреза кінцева	285
16.16 Фреза шпонкова	285
16.17 Зубці шпонкової фрези	285
16.18 Утворення пазу	286
16.19 Т-подібна фреза	286
16.20 Набори фрез	287
16.21 Простий зуб	290
16.22 Посилений зуб	290
16.23 Рівномісний зуб	290
16.24 Гострозаточені та затиловані фрези	293
16.25 Затилювання	294
16.26 Заточування фасонних гострозаточених фрез	302
17.1 Ідея евольвентного зачеплення	310
17.2 Елементи зубчастого зачеплення	312
17.3 Черв'ячна фреза	313
17.4 Конструктивні параметри	314
17.5 Основні черв'яки	315
17.6 Кінематика затилювання	316
17.7 Геометрія затилювання	316
17.8 Заточування черв'ячних фрез	317
18.1 Види різьби	326
18.2 Елемента та параметри різьби	328
18.3 Крок різьби	328
18.4 Елементи зовнішньої різьби	329
18.5 Елементи внутрішньої різьби	329
19.1 Стержневі різці	333
19.2 Радіальні різці	333
19.3 Методи врізання	334
19.4 Ручні мітчики	337
19.5 Розподіл припуску при роботі комплектних мітчиків	337
19.6 Машинно-ручні мітчики	337
19.7 Машинний мітчик	337
19.8 Машинні мітчики	338
19.9 Гайкові мітчики	339
19.10 Безканавковий мітчик	339
19.11 Мітчик з шаховим розташуванням зубців	340
19.12 Мітчик-протяжка	340
19.13 Схеми зняття припуску	342

19.14	Конструктивні елементи мітчика	345
19.15	Форма канавки мітчика	347
19.16	Напрямок канавок мітчика	349
19.17	Геометричні параметри мітчика	349
19.18	Затилування мітчиків	351
19.19	Різьбонарізна плашка	352
19.20	Різьбальна частина плашки	353
19.21	Геометричні параметри плашки	353
19.22	Дискові різьбові фрези	354
19.23	Кінцеві фрези	355
19.24	Різьбонарізні головки	356
19.25	Геометричні параметри різьбонарізних гребінок	357
20.1	Шліфування різьби одонитковим кругом	359
20.2	Шліфування різьби багатонитковим кругом	360
21.1	Пластичне утворення різьб	364
21.2	Розкатники	368
22.1	Схеми шліфування	372
22.2	Типи зносу	374
22.3	Структура абразивного інструмента	382
22.4	Кріплення абразивних кругів	388
22.5	Пристрій для балансування кругів [3]	390
22.6	Правка олівцем	392
22.7	Шарошка	393
25.1	Умови оброблення	412
26.1	Маркування пластин	414
26.2	Форма пластин	414
26.3	Задній кут пластини	414
26.4	Тип пластини	414
26.5	Розмір пластини	415
26.6	Радіус при вершині	415
26.7	Маркування державок	416
26.8	Типи кріплення пластин	417
26.9	Виконання різців	418
26.10	Зачисні пластини	420
26.11	Зовнішня обробка	420
26.12	Внутрішня обробка	421
26.13	Канавковий різець	422
26.14	Відрізний різець	423
26.15	Різьбова пластина	425
26.16	Кількість зубців	426

26.17 Кут у плані	427
26.18 Геометрія пластинок	428
26.19 Вибір типу свердла	429
26.20 Витрата ЗОР	430
26.21 Утворення фасок	431

Перелік прикладів

1.1	Приклад (Продуктивність)	23
3.1	Приклад (Сплав ВК8)	48
3.2	Приклад (Сплав Т5К10)	48
3.3	Приклад (Сплав ТТ20К9)	48
6.1	Приклад (Подача)	85
6.2	Приклад (Параметри зрізу #1)	87
6.3	Приклад (Параметри зрізу #2)	87
6.4	Приклад (Параметри стружки)	89
7.1	Приклад (Укорочення стружки [нитка])	109
7.2	Приклад (Укорочення стружки [ваговий])	111
8.1	Приклад (Сила різання P_z)	117
8.2	Приклад (Сили, точіння #1)	118
8.3	Приклад (Сили, точіння #2)	118
8.4	Приклад (Сили, свердлування)	118
8.5	Приклад (Крутний момент, фрезерування)	119
9.1	Приклад (Температура точіння)	125
9.2	Приклад (Температура свердління #1)	130
9.3	Приклад (Температура свердління #1)	130
9.4	Приклад (Температура свердління #3)	130
13.1	Приклад (Передній кут свердла)	207
13.2	Приклад (Нормальний передній кут)	208
13.3	Приклад (Проектування свердла)	213
13.4	Приклад (Свердлування, режими)	218
14.1	Приклад (Зенкерування, режими)	246
14.2	Приклад (Переточування зенкеру)	249
15.1	Приклад (Розрахунок розвертки)	266
15.2	Приклад (Розвертування, режими)	270
16.1	Приклад (Фрези. Кількість зубців #1)	289
16.2	Приклад (Фрези. Кількість зубців #2)	289
16.3	Приклад (Фрези. Затилювання)	295
16.4	Приклад (Фрезерування торцеве)	298
16.5	Приклад (Фрезерування дискове)	298
16.6	Приклад (Фрезерування кінцеве)	299
22.1	Приклад (Маркування кругів)	383
23.1	Приклад (Твердість за Бринелем)	398
23.2	Приклад (Твердість за Роквеллом)	400
23.3	Приклад (Твердість Бринель/Роквелл)	400
23.4	Приклад (Оброблюваність)	403

25.1	Приклад (Види оброблення #1)	411
25.2	Приклад (Види оброблення #2)	411
26.1	Приклад (Маркування пластини)	416
26.2	Приклад (Маркування державки)	419

Перелік правил

1.1	Правило (Продуктивність)	24
1.2	Правило (Парадокс часу)	24
1.3	Правило (Парадокс інструмента)	24
1.4	Правило (Парадокс стійкості)	25
1.5	Правило (Парадокс режимів)	25
1.6	Правило (Режими різання. Висновки)	26
1.7	Правило (Припуск, визначення)	28
1.8	Правило (Припуск зайвий)	28
1.9	Правило (Припуск малий)	28
1.10	Правило (Результативна похибка)	30
1.11	Правило (Залишкова похибка)	30
1.12	Правило (Шорсткість оброблення #1)	30
1.13	Правило (Шорсткість оброблення #2)	30
22.1	Правило (Зернистість #1)	385
22.2	Правило (Зернистість #2)	386
22.3	Правило (Вибір твердості)	387
22.4	Правило (Вибір структури)	387
23.1	Правило (Твердість)	397
26.1	Правило (Свердлування, жорсткість)	430
26.2	Правило (Свердлування, совісність)	430
26.3	Правило (Свердлування, ЗОР)	431
27.1	Правило (Проблема, точіння, знос)	434
27.2	Правило (Проблема, точіння, проточини)	434
27.3	Правило (Проблема, точіння, лунка)	434
27.4	Правило (Проблема, точіння, деформація)	434
27.5	Правило (Проблема, точіння, наріст)	435
27.6	Правило (Проблема, точіння, тріщини)	435
27.7	Правило (Проблема, точіння, викришування)	435
27.8	Правило (Проблема, точіння, полумка)	435
27.9	Правило (Проблема, точіння, стружка)	435
27.10	Правило (Проблема, точіння, коливання)	435
27.11	Правило (Проблема, фрезерування, знос)	436
27.12	Правило (Проблема, фрезерування, проточини)	436
27.13	Правило (Проблема, фрезерування, лунка)	436
27.14	Правило (Проблема, фрезерування, деформація)	436
27.15	Правило (Проблема, фрезерування, наріст)	436
27.16	Правило (Проблема, фрезерування, тріщини)	437
27.17	Правило (Проблема, фрезерування, викришування)	437

27.18	Правило (Проблема, фрезерування, поломка)	437
27.19	Правило (Проблема, фрезерування, коливання)	437
27.20	Правило (Проблема, фрезерування, якість)	437
27.21	Правило (Проблема, свердлування, поломка)	438
27.22	Правило (Проблема, свердлування, знос)	438
27.23	Правило (Проблема, свердлування, стружка)	438
27.24	Правило (Проблема, свердлування, коливання)	438
27.25	Правило (Проблема, свердлування, стійкість)	438

Частина I

ЕКОНОМІКА РІЗАННЯ

1 ЕКОНОМІКА РІЗАННЯ

1.1 Продуктивність

Продуктивність оброблення різанням визначається сукупністю наступних параметрів: швидкістю різання, глибиною різання і величиною подачі.

Продуктивність різання

За стандартами ISO продуктивність різання вимірюють, як об'єм матеріалу зрізаного впродовж однієї хвилини роботи інструмента (тобто як $\text{см}^3/\text{хв}$).

Параметри різання по різному впливають на продуктивність оброблення та на стійкість інструмента:

- глибина різання має незначний вплив (через обмеження величини припуску на оброблення);
- більший ефект має подача (подача допускає можливість зміни в значному діапазоні);
- швидкість різання в найбільший мірі впливає на стійкість інструмента.

Приклад 1.1 (Продуктивність)

Визначити найбільшу продуктивність точіння для трьох варіантів режимів різання¹. Матеріал деталі сталь конструкційна НВ 180.

Вихідний дані:

Варіант	I	II	III
Глибина різання t , мм	3,0	3,0	3,0
Подача s , мм	0,15	0,3	0,5
Швидкість різання v , м/хв	425	345	275
Продуктивність Q , $\text{см}^3/\text{хв}$	191	310	412

¹Приклад взято з матеріалів корпорації Sandvik Coromant “*Training Handbook*”.

Рішення:

1. Максимальна продуктивність $Q = tsv = 412$ для мінімальної швидкості та максимальній подачі.

Правило 1.1 (Продуктивність)

Найбільша подача + найменша швидкість різання = найбільша продуктивність.

1.2 Парадокси собівартості

Час оброблення

Якщо розглянути час, котрий був затрачений на виготовлення продукції, то виявиться досить неочікувана ситуація:

- 50% – час оброблення (час, коли заготовка знаходиться в процесі оброблення);
- 25% – час витрачений на зміну інструмента;
- 10% – час витрачений на зміну заготовки;
- 15% – час витрачений на усунення неполадок та інше.

Отже, можливо сформулювати наступне правило.

Правило 1.2 (Парадокс часу)

Безпосереднє оброблення заготовки на верстаті займає лише 50% від всього часу виготовлення деталі.

Отже, для підвищення продуктивності доцільно зменшувати витрати часу на підготовку до оброблення на верстаті.

Витрати на інструмент

Традиційно вважається, що чим дорожчий інструмент використовують у виробництві – тим дорожчою буде готова деталь. Однак порівняння витрат на інструмент з іншими витратами дозволяє сформулювати наступне правило:

Правило 1.3 (Парадокс інструмента)

Якщо збільшити витрати на інструмент на 30% – то собівартість деталі збільшиться всього на 1%.

Отже, для підвищення продуктивності доцільно не економити на сучасному та якісному різальному інструменті.

Це пояснюється дуже просто – чим якісніший інструмент, тим довше він прослужить, а відповідно і тим меншим буде частка його вартості в собівартості деталі.

Стійкість інструмента

Традиційно вважається, що збільшення стійкості інструмента призведе до значного зменшення собівартості продукції. Але насправді це не так.

Правило 1.4 (Парадокс стійкості)

Якщо збільшити стійкість інструмента на цілий 50% – то собівартість виготовлення деталі зменшиться всього на 1%.

Колись вважалось, що стійкість інструмента повинна бути якомога більшою. Але інструмент повинен працювати. Якщо інструмент покласти на полицю і не застосовувати – то він збережеться віками, але нічого не виготовить.

У сучасному машинобудуванні вважають, що достатня стійкість високопродуктивного інструмента становить 20...30 хв.

Практика застосування інструмента показала, що дешевше частіше відновлювати різальні здатності інструмента, ніж працювати до його поломки.

Режими різання

Вважається (помилково), що режими різання не дуже впливають на собівартість. Комбінацій режимів різання (швидкість, подача, глибина різання) може бути безліч і всі вони взаємодіють між собою. Адже, збільшивши щось одне, доводиться зменшувати щось інше. Насправді це не зовсім так.

Правило 1.5 (Парадокс режимів)

Якщо збільшити режими різання всього на 20% – то собівартість виготовлення деталі зменшиться на 10%.

Отже, доцільно застосовувати максимально “жорсткі” режими різання. Адже, збільшення режимів різання має найбільший вплив на собівартість, а відповідно і на продуктивність процесу оброблення.

Правило 1.6 (Режими різання. Висновки)

Для збільшення продуктивності доцільно не економити на інструменті, та застосовувати максимально “жорсткі” режими різання.

1.3 Припуски

Сучасний стан металооброблення дозволяє обробляти майже всі метали різанням. Однак, існує чисто економічна проблема – чи варто витрачати зайві кошти і час на технологічну операцію, якщо можна отримати теж саме, але дешевше.

Отже, існують економічно обґрунтовані припуски на окремі технологічні операції, перевищення яких призводить до зайвих витрат.

Припуск

Це шар металу, що зрізують під час виконання певного технологічного переходу.

Якщо залишати більший припуск, то доведеться витрачати зайві ресурси на його видалення. Якщо ж залишати менший припуск, то не отримаєте очікуваного результату через те, що на обробленій поверхні залишаться сліди попереднього оброблення.

Точіння

Доцільний припуск (міліметрів на діаметр) під час чистового точіння валів діаметром d різної довжини:

d , мм	Доцільний припуск, мм для довжини валу, мм		
	до 100	100 – 300	300 – 500
6 – 10	0,7	0,9	1,2
10 – 18	0,8	0,1	1,2
18 – 30	0,9	1,1	1,3
30 – 50	1,0	1,2	1,4
50 – 80	1,1	1,3	1,5
80 – 120	1,2	1,4	1,6
120 – 180	1,3	1,4	1,7
180 – 260	1,4	1,5	1,8
260 – 360	1,5	1,6	1,9

Шліфування

Доцільний припуск (міліметрів на діаметр) під час шліфування загартованих валів діаметром d після їх чорнового обточування²:

d , мм	Доцільний припуск, мм для довжини валу, мм		
	до 100	100 – 300	300 – 500
6 – 10	0,30	0,35	0,40
10 – 18	0,35	0,40	0,45
18 – 30	0,40	0,45	0,50
30 – 50	0,45	0,50	0,55
50 – 80	0,50	0,55	0,60
80 – 120	0,55	0,60	0,65
120 – 180	0,60	0,65	0,70
180 – 260	0,65	0,70	0,75
260 – 360	0,70	0,75	0,80

Доцільний припуск (міліметрів на діаметр) під час шліфування сирих валів діаметром d після їх чорнового обточування³:

d , мм	Доцільний припуск, мм для довжини валу, мм		
	до 100	100 – 300	300 – 500
6 – 10	0,25	0,30	0,35
10 – 18	0,30	0,35	0,40
18 – 30	0,35	0,40	0,45
30 – 50	0,40	0,45	0,50
50 – 80	0,45	0,50	0,60
80 – 120	0,50	0,60	0,65
120 – 180	0,55	0,65	0,70
180 – 260	0,60	0,70	0,75
260 – 360	0,65	0,75	0,80

Оброблення отворів

Максимальний припуск (на діаметр) на основні технологічні операції оброблення отворів різного діаметру:

²Тобто спочатку вал проточили начорно, потім загартували, а вже потім почали шліфувати.

³Тобто спочатку вал проточили начорно, а вже потім почали шліфувати.

Операція	Діаметр отвору, мм			
	6 – 10	10 – 18	18 – 30	30 – 50
Розточування після свердління	0,8	1,2	1,3	1,4
Розвертування після свердління	0,3	0,35	0,4	0,5
Розвертування чистове після чорнового	0,08	0,09	0,10	0,12

Правило 1.7 (Припуск, визначення)

При визначенні припуску необхідно приймати найменш можливий припуск. Це заощадить кошти та час на оброблення деталі.

Правило 1.8 (Припуск зайвий)

Занадто великий припуск здорожує виготовлення деталі.

Якщо залишити (призначити) зайвий припуск на технологічний процес, то це призведе до здорожчання продукції. Адже, будь-який фінішний технологічний процес коштує значно більше, ніж будь-який чорновий.

Правило 1.9 (Припуск малий)

Занадто малий припуск не дозволяє отримати деталь з необхідними параметрами шорсткості та відхилень.

1.4 Точність оброблення

Термін “точність оброблення” широко вживаний, але не зовсім коректний з технічної сторони. Більш вірно застосовувати термін – мінімальна похибка оброблення, або просто “похибка оброблення”.

Зазвичай під терміном “точність оброблення” мають на увазі величину відхилення від номінального розміру, котру може забезпечити певний технологічний процес.

Так під час застосування шліфування можливо забезпечити відхилення від номінального розміру в межах декількох мікрометрів. Але якщо в якості інструмента застосовувати кувалду, навряд можливо отримати такі ж результати.

Нижче наведена економічно обґрунтована “точність оброблення”, яку можливо забезпечити різними технологічними процесами.

Оброблення отворів

Середня похибка Δ (у міліметрах на діаметр) оброблення отворів довжиною (глибиною) до 300 мм.

Операція	Середня похибка оброблення, мм отвору діаметром, мм			
	6 – 10	10 – 18	18 – 30	30 – 50
Зенкерування чорнове	–	0,017	0,20	0,30
Зенкерування чистове	–	0,12	0,15	0,25
Свердління без кондуктора ..	0,15	0,15	0,20	0,20
Свердління з кондуктором...	0,06	0,07	0,10	0,13
Розсвердлювання отвору	–	–	0,10	0,15
Розвертування, шліфування чорнове	0,03	0,03	0,05	0,05
Розвертування, шліфування чистове	0,012	0,015	0,020	0,025

Оброблення валів

Середня похибка Δ (у міліметрах на діаметр) оброблення валів довжиною 100...300 мм.

Операція	Середня похибка оброблення, мм валу діаметром, мм			
	6 – 10	10 – 18	18 – 30	30 – 50
Чорнове точіння	0,20	0,20	0,20	0,20
Чистове точіння	0,10	0,10	0,10	0,10
Чорнове шліфування	0,05	0,06	0,06	0,08
Чистове шліфування	0,012	0,017	0,020	0,025

Результативна похибка

Результативна похибка оброблення складається з багатьох похибок викликаних різними факторами. Це так звані первинні похибки. До первинних похибок можливо віднести:

- теоретична похибка, як результат помилкового застосування суто теоретичних положень;
- похибки викликані неполадками верстата;
- похибка інструмента;

- пружні деформації верстата, інструмента, пристрою та самої деталі;
- теплові деформації викликані нагріванням (охолодженням) об'єктів, що приймають участь у процесі оброблення;

У сумі всі первинні похибки впливають на результативну похибку оброблення.

Правило 1.10 (Результативна похибка)

Щоб зменшити результативну похибку, доцільно зменшувати найвпливовішу первинну похибку.

Правило 1.11 (Залишкова похибка)

Якщо не вдається зменшити найвпливовішу первинну похибку, то доцільно змінити технологічний процес.

1.5 Шорсткість оброблення

Різні технологічні процеси забезпечують різну шорсткість обробленої поверхні. На рис. 1.1 наведені межі шорсткості, котрі може забезпечити той, чи інший технологічний процес з урахуванням економічних витрат середніх для машинобудування.

Наведені значення шорсткості, це середня шорсткість, яку забезпечує певний технологічний процес (так би мовити – в середньому).

Зауваження. Не треба вважати, що застосувавши певний технологічний процес ви отримаєте саме те значення шорсткості, яка вказано. Усе набагато складніше.

Правило 1.12 (Шорсткість оброблення #1)

Для того, щоб отримати певну величину шорсткості необхідно дотримуватись вимог технологічного процесу.

Правило 1.13 (Шорсткість оброблення #2)

Найбільший вплив на шорсткість обробленої поверхні мають режими різання та якість різального інструмента. Неможливо отримати якісну поверхню деталі застосовуючи погано заточений інструмент.

Технологічний процес	Шорсткість Ra , мкм													
	0,008	0,0125	0,025	0,5	0,10	0,20	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50
Точіння														
Розточування														
Розвертування														
Фрезерування циліндричне														
Фрезерування торцеве														
Шліфування														
Полірування														

Рис. 1.1. Технологічно досяжна шорсткість

1.6 Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення продуктивності процес різання.
2. Для якого співвідношення подачі і швидкості різання, продуктивність є найбільшою?
3. Вкажіть, орієнтовно, на скільки збільшиться собівартість деталі, якщо витрати на інструмент зростуть на 30%.
4. Вкажіть на скільки зменшиться собівартість виготовлення деталі, якщо стійкість інструмента збільшити на 50%.
5. Вкажіть, орієнтовно, на скільки зменшиться собівартість деталі, якщо режими різання збільшити на 20%.
6. Дайте формулювання, що таке припуск на оброблення?
7. Чи доцільно збільшувати припуск для здешевлення виготовлення деталі?
8. Чи доцільно занадто зменшувати припуск для отримання мінімальних параметрів шорсткості?
9. Чи впливає характер технологічного процесу виготовлення деталі на шорсткість її поверхонь?
10. Чи можливо отримати деталь з необхідною шорсткістю поверхонь застосовуючи погано загострений інструмент?

Частина II

ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

2 СТАЛІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ

Інструментальні сталі це сталі, які застосовують для виготовлення різального інструмента. Залежно від складу інструментальні сталі поділяють на три основні групи:

- сталі вуглецеві;
- сталі низьколеговані ;
- сталі швидкорізальні.

2.1 Вуглецеві сталі

Основним хімічним елементом, котрий надає вуглецевій інструментальній сталі різальних властивостей є вуглець, тому ці сталі називають вуглецевими.

Маркування вуглецевих сталей починається з букви “У” від російського “углерод”. Цифри означають десяті долі процентного вмісту вуглецю.

Вуглецеві сталі розділяють на сталі звичайної якості та високоякісні. Останні містять менше домішок (до 0,03% кожного елементу).

Сталі У7. . . У13

Сталі марок У7. . . У13 – це сталі звичайної якості загального застосування. Їх використовують для виготовлення звичайного інструмента без особливих вимог.

Сталі У7А. . . У13А

Сталі марок У7А. . . У13А, що мають у кінці літеру “А” – це сталі підвищеної якості (містять менше домішок). Літера “А” залишилася від старого застосування цих сталей, інструменти з них використовували на верстатах-автоматах, звідси і збереглось позначення “А” – автомат. Раніше ці сталі так і називали – автоматні сталі (для верстатів-автоматів). Нижче наведено склад вуглецевих інструментальних сталей

Сталь	C, %	Mn, %	Si, %
У7	0,60 ... 0,74	0,25 ... 0,35	менше 0,3
У8	0,75 ... 0,85	0,25 ... 0,35	
У9	0,85 ... 0,94	0,20 ... 0,30	
У10	0,95 ... 1,09	0,15 ... 0,25	
У12	1,10 ... 1,25	0,15 ... 0,25	
У13	1,26 ... 1,40	0,25 ... 0,35	

Історично, вуглецеві інструментальні сталі з'явилися найпершими. На жаль вони мають низькі різальні властивості. При температурі в зоні різання більш 200 °С вуглецеві сталі різко втрачають різальні властивості.

Гартування вуглецевих сталей здійснюється при температурі 800 °С, з подальшим охолодженням у воді або маслі та відпущенням при температурі 160 ... 180 °С на повітрі. У результаті інструмент з вуглецевої сталі досягає твердості HRC 60–63, що достатньо для обробки більшості матеріалів.

Вуглецеві сталі використовують при швидкостях різання не більше 10 ... 12 м/хв та при температурі в зоні різання не більше 200 °С, що обмежує їх застосування в металообробленні.

Окрім цього, вуглецеві інструментальні сталі мають малу прогартовуваність, внаслідок чого твердість інструмента за глибиною значно змінюється. Так квадратний пруток січенням 10×10 мм після термічної обробки набуває твердості поверхневих шарів приблизно HRC 60–63. Тоді як серцевина прутка залишається не загартованою.

Внаслідок значних деформацій після термооброблення, не рекомендується робити з вуглецевих сталей довгі інструменти, а також інструменти, що мають складний профіль.

Загалом, вуглецеві інструментальні сталі мають таке (дещо обмежене) застосування:

- У7 – інструменти, які піддаються ударам і такі, що вимагають високої в'язкості – зубила, кернера, ножі по металу. Твердість HRC 62.
- У8 – інструменти для оброблення деревини – фрези, зенкери, пили подовжні і дискові. Твердість HRC 62.
- У9, У10 – розвертки, плашки, ножівкові полотна. Твердість HRC 62.
- У10, У12 – ножі (по металу та мисливські). Твердість HRC 58.
- У12, У13 – напилки, мітчики, розвертки. Твердість HRC 60-62.

2.2 Низьколеговані сталі

Ці сталі мають в своєму складі невелику кількість легуючих елементів (через що їх називають низьколегованими). В основному це хром, вольфрам і ванадій. Леговані сталі мають вищі різальні властивості, ніж вуглецеві. Вони можуть успішно працювати при температурі до 250°C у зоні різання.

Марок низьколегованих сталей досить багато. Особливістю всіх низьколегованих інструментальних сталей є їх цільове і достатньо вузьке застосування. Тобто сталь певної марки, як правило, застосовується тільки для виготовлення певного інструмента. Це обумовлено специфічними властивостями низьколегованих сталей.

Хімічні елементи, що входять до складу низьколегованих сталей маркують літерами абетки:

Г	– марганець	Ф	– ванадій
С	– кремній	Н	– нікель
Х	– хром	М	– молібден
В	– вольфрам	У	– вуглець

Цифри, в позначенні низьколегованої сталі вказують на відсоток вмісту відповідного елементу. Якщо його вміст близько 1% то цифру не вказують. Наприклад, сталь ХВГ містить близько 1% хрому, вольфраму і марганцю. А сталь Х6ВФ містить 6% хрому.

Низьколеговані сталі мають таке застосування:

11Х	– мітчики діаметром до 30 мм. Твердість не більше HRC 62.
13Х	– ручний гравіювальний інструмент. Твердість HRC 64.
ХВГ	– протяжки, мітчики, розвертки великої довжини. Твердість HRC 62.
9ХС	– свердла, розвертки, плашки, гребінки зуборізні, мітчики. Твердість HRC 60
ХВСГ	– протяжки і фрези складного профілю. Твердість HRC 62.
Х6ВФ	– ролики для накочування рифлень. Твердість HRC 58–60.
Х12М	– плашки різьбові накатні плоскі. Твердість HRC 58–60.

Сталь 9ХС

Сталь 9ХС застосовують для виготовлення свердел, розверток, мітчиків, плашок, гребінок, фрез, що працюють при порівняно низьких швидкостях різання. Вона має рівномірний розподіл карбідів, що дозволяє виготовляти з неї інструменти з тонким різальним лезом.

Сталь ХВГ

Сталь ХВГ відрізняється незначним викривленням при термообробленні. Тому з неї виготовляють відносно довгі інструменти, такі як: протяжки, довгі розвертки, довгі мітчики, що працюють на невисоких режимах різання.

Окрім цього сталь ХВГ має хороші пружні властивості і тому її застосовують для виготовлення інструмента, який може піддаватися незначним деформаціям, що вигинають у процесі роботи. Вона також застосовується для виготовлення деревообробних інструментів.

Сталь Х6ВФ

Сталь марки Х6ВФ має високу зносостійкість внаслідок підвищеного вмісту хрому. Тому її доцільно застосовувати для виготовлення накатних роликів, ножіткових полотен.

2.3 Швидкорізальні сталі

Швидкорізальними сталями називають такі, які мають вольфрам, ванадій, кобальт і молібдену більше, ніж у низьколегованих інструментальних сталях. У теперішній час більше 70% лезового інструмента виготовляють із швидкорізальних сталей.

Вперше інструментальну сталь, яку називають швидкорізальною отримали в 1896 році в Америці. Поява швидкорізальної сталі зобов'язана помилці. У ті часи вважалося, що хороша інструментальна сталь повинна піддаватися нагріву до 850°C перед термічною обробкою. Проте, у результаті помилки робітників, різці нагріли до температури 1200°C. Так отримали швидкорізальну сталь, яка ще з 1868 року була відома як сталь Mushet, котру виготовляли в Англії.

У результаті такої “помилки” отримали сталь, яка може працювати при швидкості різання до 25 м/хв і температурі до 600°C. Тому її і назвали швидкорізальною¹.

Швидкорізальні сталі розділяють на дві групи: нормальної та підвищеної продуктивності. Загальна кількість марок швидкорізальних інструментальних сталей близько сотні, але у виробництві металорізального інструмента застосовують лише декілька марок.

¹Не треба вважати, що швидкорізальна сталь працездатна тільки до температури 600°C, а при 601°C – вже ні. Просто з підвищенням температури більше 600°C настає катастрофічна (прискорена) руйнація інструмента тим швидше, чим більша температура в зоні різання.

2.3.1 Сталі нормальної продуктивності

Швидкорізальної сталі нормальної продуктивності відрізняються, в основному, процентним вмістом вольфраму, ванадію, молібдену. Їх застосовують для виготовлення різних інструментів, для всіх видів оброблення конструкційних сталей, чавунів, кольорових металів при відповідних режимах.

Швидкорізальні сталі нормальної продуктивності зберігають працездатність при температурах до 600°С і мають твердість в межах HRC 62–64, що дозволяє різати при швидкостях до 25 м/хв.

Основні марки швидкорізальних сталей нормальної продуктивності та загального застосування:

- P9 – 9% вольфраму.
Погано шліфується, пригоряє. Застосовують для не дуже відповідального інструмента.
- P12 – 12% вольфраму.
Проміжна між P9 і P18.
- P18 – 18% вольфраму.
Найкраща, але містить багато дефіцитного вольфраму. У теперішні часи практично не застосовують через дефіцит вольфраму.
- P6M3 – 6% вольфраму;
3% молібдену.
Проміжна між P18 і P6M5. Застосовують як заміник більш дорогої сталі P6M5.
- P6M5 – 6% вольфраму;
5% молібдену.
Найбільш поширена в машинобудуванні.

Сталь P18

Сталь P18, за своїми різальними властивостями, є еталоном швидкорізальних інструментальних сталей. Однак, в даний час вольфрам є дефіцитною сировиною, тому інструменти із сталі P18 практично не виготовляють.

Сталь P12

Сталь P12 можна застосовувати для виготовлення складних інструментів, таких, як фасонні різці, інструменти, що працюють методом обкочування, різьбонарізні і зуборізні інструменти, а також

для інструментів, що працюють на низьких швидкостях різання, але коли від них потрібна висока зносостійкість (протяжки, розвертки).

Сталь Р9

Сталь Р9 застосовують для виготовлення простого інструмента, як правило призначеного для обробки деревини.

Сталь Р6М5

У теперішній час сталь Р6М5 і її модифікації є основними у металообробленні. Її виробництво складає близько 75% від загального випуску швидкорізальних сталей.

Інструментальні сталі нормальної продуктивності мають таке застосування в загальній обробці металів:

- Р9 – інструменти простій форми, що не вимагають великого об'єму шліфувальних операцій. Застосовується для обробки звичайних конструкційних матеріалів, має підвищену пластичність і може використовуватися для виготовлення інструментів методами пластичного деформування. Однак має знижену придатність до шліфування.
- Р12 – приблизно для тих же цілей, що і сталь Р18, але дещо гірше шліфується.
- Р18 – для всіх видів різального інструмента при обробці звичайних конструкційних матеріалів. У теперішній час майже не використовують через значний вміст дорогого вольфраму.
- Р6М5 – всі види різальних інструментів. Можливо використовувати для інструментів, що працюють з ударними навантаженнями. У теперішній час найпоширеніша інструментальна сталь.
- Р6М5ФЗ – чистові та напівчистові інструменти (фасонні різці, розвертки, протяжки і ін.) при обробці конструкційних сталей.
- 10Р6М5 – те ж, що і сталь Р6М5, але в порівнянні із нею має дещо більшу твердість, але меншу міцність.
- Р9Ф5 – інструменти простої форми, що не вимагають великого об'єму шліфувальних операцій. Рекомендується для

обробки матеріалів з підвищеними абразивними властивостями, для чистових інструментів, що працюють з середніми швидкостями різання і малими перетинами зрізу. Здатність до шліфування знижена.

P12Ф3 – чистові і напівчистові інструменти, що працюють з середніми швидкостями різання, для оброблення матеріалів з підвищеними абразивними властивостями. Добре придатна до шліфування.

2.3.2 Сталі підвищеної продуктивності

Швидкорізальні сталі підвищеної продуктивності мають у своєму складі підвищений вміст кобальту – більше 5 %.

Кобальт забезпечує підвищену твердість до HRC 64–67 і працездатність при температурах до 650°C.

Основна перевага кобальту – це забезпечення підвищеної міцності різального клину.

Можна виділити чотири групи швидкорізальних сталей підвищеної продуктивності, котрі застосовують для оброблення різанням.

Група 1

Кобальтові з підвищеним вмістом кобальту. Вони мають хороші різальні властивості, але схильні до підвищеної крихкості. Тому ці сталі застосовують за наявності достатньо жорсткого устаткування. Типові представники групи:

Сталь	C	W	Co	V	Mo	Cr	Mn	Si
P9K5	0,9-1,0	9,0-10,5	5,0-6,0	2,3	1,0	3,8-4,4	0,4	0,5
P9K10	0,9-1,0	9,0-10,5	9,0-10,5	2,3	–	–	–	–

Група 2

Вольфрам-ванадієві сталі характеризуються підвищеною ковкою і шліфуємостю. Їх застосовують, коли основним критерієм працездатності є зносостійкість інструмента. Типові представники групи:

Сталь	C	W	V	Cr
P9Ф5	1,4-1,5	9,0-10,5	4,3-5,1	–
P14Ф4	1,2-1,4	13,0-14,5	3,4-4,1	4,0-4,6

Група 3

Вольфрамо-кобальто-ванадієві сталі мають підвищену твердість, тому їх застосовують для обробки високоміцних матеріалів. Типові представники групи:

Сталь	C	W	Co	V	Cr
P10Ф5K5	1,45-1,55	10,0-11,5	5,0-6,0	4,3-5,1	–
P18Ф2K5	0,85-0,95	17,0-18,5	5,0-6,0	1,9-2,4	3,8-4,4

Група 4

Вольфрамо-кобальто-молибденові сталі застосовують для обробки деталей (інструментів) зі швидкорізальних інструментальних сталей. Типові представники групи:

Сталь	C	W	Co	V	Mo	Cr
P6M5K5	0,80-0,88	6,0-7,0	4,8-5,3	1,7-2,2	4,8-5,3	–
P9M4K8	1,0-1,1	8,5-9,6	7,5-8,5	2,1-2,5	3,8-4,3	3,0-3,6

Швидкорізальні сталі підвищеної продуктивності застосовують при обробці жароміцних, неіржавіючих, високолегованих сталей, а також для оброблення конструкційних сталей при швидкостях різання до 50...80 м/хв.

Загалом сталі підвищеної продуктивності досить дорогі і їх застосування, з цієї причини, дещо обмежене.

Інструментальні сталі підвищеної продуктивності мають таке застосування у загальній обробці металів:

- P9K5 – обробка сталей і сплавів підвищеної твердості. Чистова і напівчистова обробка без вібрацій. Здатність до шліфування знижена.
- P9M4K8 – обробка високоміцних нержавіючих, жароміцних сталей і сплавів в умовах підвищеного розігрівання різальної кромки. Здатність до шліфування дещо знижена.
- P6M5K5 – така ж як і сталь P9M4K8, але має менше кобальту.
- P10K5Ф5 – обробка високоміцних і твердих сталей і сплавів; матеріалів, що мають підвищені абразивні властивості. Здатність до шліфування низька.
- P12K5Ф5 – така ж як і сталь P10K5Ф5, але має більше вольфраму і тому трохи краща.
- 11P3AM3Ф2 – інструменти простій форми при обробленні вуглецевих і легованих сталей середньої міцності.

Загалом, найбільш поширеними сталями підвищеної продуктивності в металообробленні² є сталі марок:

P9K5 – 9% вольфраму;
5% кобальту.

Інструменти призначені для оброблення корозійно-стійких сталей та жароміцних сплавів, а також сталей підвищеної міцності.

P6K5M5 – 6% вольфраму;
5% кобальту;
5% молібдену.

Для чистових та напівчистових інструментів при обробленні легованих та корозійно-стійких сталей.

²Справочник конструктора-инструментальщика / [В. И. Баранчиков, Г. В. Боровский, В. А. Гречишников та ін.]. – М: Машиностроение, 1994. – 560 с.

2.4 Питання для самоконтролю

1. Поясніть, чому вуглецеві інструментальні сталі мають саме таку назву.
2. Як позначають вміст вуглецю у вуглецевій сталі?
3. Опишіть основні галузі застосування вуглецевих інструментальних сталей.
4. Яка найбільша робоча температура для вуглецевої інструментальної сталі?
5. Чому низьколеговані інструментальні сталі мають таку назву?
6. Вкажіть основні легуючі елементи низьколегованих інструментальних сталей.
7. Яка найбільша робоча температура для низьколегованих інструментальної сталі?
8. Які основні легуючі елементи мають швидкорізальні інструментальні сталі?
9. У чому різниця між звичайними швидкорізальними сталями та сталями підвищеної продуктивності?
10. Перелічить та надайте характеристики групам сталей підвищеної продуктивності.
11. Якою є найбільша допустима швидкість різання для швидкорізальних сталей?
12. Якою є найбільша допустима температура у зоні різання для швидкорізальних сталей?
13. Який відсоток (орієнтовно) мають у своєму складі швидкорізальні сталі підвищеної продуктивності?
14. Яку твердість мають інструменти виготовлені із інструментальних сталей?

3 ТВЕРДІ СПЛАВИ

Тверді сплави насправді не є сплавами. Термін “твердий сплав” зберігся як назва першого методу отримання твердого сплаву – методом плавки в середовищі газової горілки. Нині твердий сплав отримують методами порошкової металургії.

З появою твердих сплавів і використанням їх для інструментів, відбувся різкий стрибок у металообробці. Швидкості різання збільшилися 200...300 м/хв, а допустима температура в зоні різання зросла до 800°C.

Основним компонентом усіх твердих сплавів є карбід вольфраму WC. Залежно від складу добавок розрізняють три основні групи твердих сплавів – ВК, ТК та ТТК.

3.1 Група ВК

Це однокарбідні сплави – містять тільки карбід вольфраму WC. Їх називають сплавами вольфрамо-кобальтової групи, або скорочено сплавами ВК групи. Основні представники цієї групи мають такий склад:

Марка	Карбід вольфраму WC, %	Карбід титану TiC, %	Карбід танталу TaC, %	Металевий кобальт Co, %
ВК3	97	–	–	3
ВК6	94	–	–	6
ВК8	92	–	–	8

Галузь застосування твердих сплавів групи ВК – оброблення деталей з чавуну, кольорових металів і неметалевих матеріалів, таких як бетон. У металообробленні сплави групи ВК мають таке застосування:

ВК3 – чистове точіння з малим перетином зрізу, остаточне нарізування різи, розвертування отворів та інших аналогічних видів обробки сірого чавуну, кольорових металів і їх сплавів і неметалевих матеріалів (гуми, фібри, пластмаси, скла, склопластиків та ін.).

- ВК4 – чорнове точіння при нерівномірному перетині зрізу, чорнове і чистове фрезерування, розсвердлювання і розточування нормальних і глибоких отворів, чорнове зенкерування при обробці чавуну, кольорових металів і сплавів, титану та його сплавів.
- ВК6 – чорнове і напівчорнове точіння, попереднє нарізування різьб токарними різцями, напівчистове фрезерування суцільних поверхонь, розсвердлювання й розточування отворів, зенкерування сірого чавуну, кольорових металів і їх сплавів і неметалевих матеріалів.
- ВК8 – чорнове точіння при нерівномірному перетині зрізу і переривистому різанні, стругання, чорнове фрезерування, розсвердлювання, чорнове зенкерування сірого чавуну, кольорових металів і їх сплавів і неметалевих матеріалів; обробка нержавіючих, високоміцних і жароміцних сталей і сплавів, зокрема сплавів титану.
- ВК15 – різальний інструмент для оброблення деревини.

3.2 Група ТК

Це сплави двокарбідні сплави, вони містять карбіди двох елементів, а саме: карбід вольфраму WC і карбід титану TiC. Їх називають сплавами титано-вольфрамо-кобальтової групи, або скорочено сплавами ТК групи. Основні представники цієї групи мають такий склад:

Марка	Карбід вольфраму WC, %	Карбід титану TiC, %	Карбід танталу TaC, %	Металевий кобальт Co, %
T5K10	85	5	–	10
T15K6	79	15	–	6
T30K4	66	30	–	4

Титано-вольфрамові тверді сплави більш зносостійкі та мають підвищену теплостійкість, ніж вольфрамові сплави групи ВК. Підвищені різальні властивості їм додає титан.

Тому ці сплави ефективніше застосовувати для обробки в'язких металів, які при різанні утворюють елементну, або зливну стружку. У цьому випадку знос інструмента відбувається інтенсивніше, оскільки цей процес протікає одночасно – як по задній, так і по передній поверхнях.

Титанові сплави групи ТК менше схильні до адгезійної взаємодії, тобто до злипання і зварювання з оброблюваним металом. У них на 100...150°C вище температура злипання із сталлю і чавуном, а міцність такого схоплювання нижча, ніж у вольфрамових твердих сплавів групи ВК. Усе це зменшує відносний знос і збільшує стійкість інструмента групи ТК.

Область застосування твердих сплавів групи ТК -- обробка деталей з конструкційних сталей. Тверді сплави групи ТК рекомендується застосовувати при обробленні сталей і інших в'язких металів.

У металообробленні сплави групи ТК мають таке застосування:

- T30K4 – чистове точіння з малим перетином зрізу, нарізування різьб і розвертування отворів незагартованих і загартованих вуглецевих сталей.
- T15K6 – напівчорнове точіння при безперервному різанні, чистове точіння при переривистому різанні, нарізування різьб токарними різцями і головками, що обертаються, напівчистове і чистове фрезерування суцільних поверхонь, розсвердлювання і розточування, чистове зенкерування та інші аналогічні види обробки вуглецевих і легованих сталей.
- T14K8 – чорнове точіння при нерівномірному перетині зрізу і безперервному різанні, напівчистове і чистове точіння при переривистому різанні, чорнове фрезерування суцільних поверхонь, розсвердлювання литих і кованих отворів, чорнове зенкерування і інші подібні види обробки вуглецевих і легованих сталей.
- T5K10 – чорнові точіння при нерівномірному перетині зрізу і переривистому різанні, фасонне точіння, відрізки токарними різцями, чорнове фрезерування суцільних поверхонь та інші види обробки вуглецевих і легованих сталей, переважно у вигляді поковок, штамповок і відливок по кірці і окалині.
- T5K12 – важке чорнове точіння сталевих поковок, відливок по кірці з раковинами за наявності піску, шлаку і різних неметалевих включень, при нерівномірному перетині зрізу і наявності ударів всіх видів вуглецевих і легованих сталей.

3.3 Група ТТК

Ці сплави містять карбіди трьох елементів, а саме: карбід вольфраму WC, карбід титану TiC і карбід танталу TaC. Їх називають сплавами титано-тантало-вольфрамо-кобальтової групи, або скорочено сплавами ТТК групи.

Основні представники групи ТТК мають такий склад:

Марка	Карбід вольфраму WC, %	Карбід титану TiC, %	Карбід танталу TaC, %	Металевий кобальт Co, %
TT7K12	81	4	3	12
TT20K9	71	8	12	9

Сплави групи ТТК (титано-тантало-вольфрамові) переважно застосовують для обробки важкооброблюваних сталей і сплавів - неіржавіючих і жароміцних, а також інших легованих сталей.

Область застосування твердих сплавів групи ТТК – оброблення деталей з важкооброблюваних сталей:

- TT7K12 – важке чорнове точіння сталевих поковок і відливів по кірці з раковинами за наявності піску, шлаку та різних неметалевих включень при рівномірному перетині зрізу і наявності ударів; всі види вуглецевих і легованих сталей; важке чорнове фрезерування вуглецевих і легованих сталей.
- TT10K8 – чорнове і напівчистове оброблення важкооброблюваних матеріалів, неіржавіючих сталей аустенітного класу, магнітних сталей і жароміцних сталей і сплавів, зокрема титанових.
- TT20K9 – фрезерування сталі, особливо фрезерування глибоких пазів й інших видів обробки, що пред'являють підвищені вимоги до опору сплаву тепловим і механічним циклічним навантаженням.

Тантал додає сплаву збільшену в'язкість. Він більш дорогий, ніж титан і вольфрам.

3.4 Маркування твердого сплаву

Отже, всі марки твердого сплаву містять металевий кобальт і карбіди різних металів. У позначенні всіх марок твердого сплаву цифра

відповідає процентному вмісту відповідного елемента після якого вона стоїть.

Приклад 3.1 (Сплав ВК8)

Твердий сплав ВК8 містить:

8% – металевий кобальт Со;

92% – карбід вольфраму WC ($100\% - 8\% = 92\%$).

Приклад 3.2 (Сплав Т5К10)

Твердий сплав Т5К10 містить:

10% – металевий кобальт Со;

5% – карбід титану TiC;

85% – карбід вольфраму WC ($100\% - 10\% - 5\% = 85\%$).

Приклад 3.3 (Сплав ТТ20К9)

Твердий сплав ТТ20К9 містить:

9% - металевий кобальт Со;

20% - карбід титана NiC і танталу NaC (разом)

71% - карбід вольфраму WC ($100\% - 9\% - 20\% = 71\%$).

3.5 Виготовлення твердого сплаву

Принциповий технологічний процес отримання твердих сплавів наступний:

1. Порошок вольфраму перемішують з порошком вуглецю (з сажею) і прожарюють при температурі 1500°C в електричній печі протягом 2...2,5 годин у водневій атмосфері. У результаті отримують карбід вольфраму WC.

2. Далі, змішують карбід вольфраму WC і зерна металевого кобальту із карбідом титану або танталу (у залежності від марки сплаву)

3. Потім пресують у сталевих прес-формах під тиском від 703 до 4200 атмосфер у виробі бажаної форми.

4. Попереднє спікання в атмосфері водню при температурі $800 \dots 1000^{\circ}\text{C}$. Вироби виходять достатньо міцними, але легко обробляються механічно.

5. Механічна обробка, тобто розрізання на пластинки.

6. Очищення пластинок на піскоструминних установках.

7. Остаточне спікання пластинок у водневій атмосфері при температурі $1400 \dots 1500^{\circ}\text{C}$ протягом 1,5 години. При цьому кобальт

розплавляється, проникає в тріщини і пори, цементуючи пластинки сплаву.

Отримані, таким чином, сплави ніякої термообробки не потребують. Вони мають високу твердість, щільність, високу теплостійкість і зносостійкість.

Модифікації

Стандартні тверді сплави (загального виготовлення) мають зерна карбідів розміром 1...2 мкм.

Додаткова літера М (наприклад ВК8М) означає, що сплав має дрібнозернисту структуру (російською – мелкозернистый), Величина зерна менше 1 мкм.

Додаткова літера В (наприклад ВК8В) означає, що сплав високоміцний (російською – высокопрочный), грубозернистий, в якому розмір зерен 3...5 мкм.

Зауваження. На відміну від швидкорізальних сталей кобальт у твердому сплаві виконує функцію зв'язки, що цементує відповідні карбіди. Основна маса твердого сплаву: це карбіди вольфраму, титану або танталу. Саме вони є різальними складовими інструмента виготовленого із твердого сплаву.

Твердість твердого сплаву різних марок (різного складу) коливається в межах НРА 89-92. У кожній групі сплавів (ВК, ТК чи ТТК), сплави відрізняються тільки міцністю – чим більше металевого кобальту, тим міцніше сплав³.

³Не треба плутати міцність із твердістю. Це різні характеристики матеріалу.

Міцність – здатність матеріалу чинити опір незворотній (пластичній, в'язкій) деформації і руйнуванню (розділенню на частини) під дією навантажень.

Твердість – властивість матеріалу опиратися проникненню до нього іншого, твердішого тіла. За ДСТУ 2825-94: Твердість – здатність матеріалу чинити опір деформуванню та руйнуванню під дією місцевих контактних зусиль

3.6 Питання для самоконтролю

1. Назвіть основний компонент усіх твердих сплавів.
2. На які групи поділяють тверді сплави?
3. Назвіть галузь застосування твердих сплавів групи ВК.
4. Назвіть галузь застосування твердих сплавів групи ТК.
5. Назвіть галузь застосування твердих сплавів групи ТТК.
6. Як розшифрувати хімічний склад твердого сплаву марки ВК6?
7. Як розшифрувати хімічний склад твердого сплаву марки Т15К6?
8. Як розшифрувати хімічний склад твердого сплаву марки ТТ10К8?
9. Опишіть процес виготовлення твердих сплавів.
10. Що таке модифіковані тверді сплави?
11. Назвіть орієнтовно розмір зерен карбідів, що входять до складу твердих сплавів.
12. Тверді сплави отримують методи сплаву чи методом порошкової металургії?
13. Що означає додаткова літера М у маркуванні твердого сплаву?
14. Що означає додаткова літера В у маркуванні твердого сплаву?
15. Якою є найбільша температура роботи твердих сплавів?
16. Якою є найбільша швидкість різання для твердих сплавів?
17. Яка твердість твердого сплаву?
18. При якій температурі відбувається процес спікання твердого сплаву?

4 АБРАЗИВНІ МАТЕРІАЛИ

Абразивний матеріал

Це речовина природного або синтетичного походження, що містить мінерали високої твердості й міцності, зерна яких здатні обробляти поверхні інших твердих тіл шляхом дряпання, й стирання.

Абразивні матеріали застосовують для виготовлення шліфувальних і заточувальних інструментів.

Абразивні матеріали поділяються на природні й штучні. До перших відноситься кварц, наждак і корунд. Всі вони засмічені природними домішками, мають порівняно низькі різальні властивості й практично не застосовуються в промисловості.

Не треба плутати абразивні матеріали з абразивними інструментами. Абразивний матеріал, це те з чого виготовляють абразивний інструмент. У свою чергу, різні абразивні інструменти можуть бути виготовлені з одно і того ж абразивного матеріалу.

Якість абразивних матеріалів визначається формою й величиною зерен, твердістю, теплостійкістю й іншими фізико-механічними властивостями.

4.1 Зернистість абразиву

Абразивні зерна мають закруглення вершини радіусом 3–30 мкм. Зернистість характеризує розмір зерен. Залежно від розміру зерен абразивні матеріали поділяють на три групи:

- шліфувальні зерна;
- шліфувальні порошки;
- і мікропорошки.

При заточуванні різального інструмента застосовують абразивний інструмент виготовлений із шліфувальних зерен.

Поділ шліфувальних зерен за розміром і позначення зернистості для абразивного заточувального інструмента такі:

Розмір зерна, мкм	Марку- вання	Розмір зерна, мкм	Марку- вання
2500 – 2000	200	630 – 500	50
2000 – 1600	160	500 – 400	40
1600 – 1250	125	400 – 315	32
1250 – 1000	100	315 – 250	25
1000 – 800	80	250 – 200	20
800 – 630	63	200 – 160	16

4.2 Електрокорунди

У даний час для абразивних інструментів, в основному, застосовуються штучні абразивні матеріали. Практично всі сучасні абразивні матеріали створені на основі електрокорунду.

Електрокорунд отримують методом електричної плавки в дугових печах при температурі 2000 – 2050° С із матеріалів багатих на окиси алюмінію – бокситу, глинозему. Електрокорунд вельми твердий, щільний і термостійкий матеріал. Залежно від відсоткового вмісту Al_2O_3 електрокорунд буває нормальний, білий, легований і монокорунд.

Електрокорунд нормальний

Електрокорунд нормальний містить до 95% Al_2O_3 . Він позначається 1А і випускається марок 12А, 13А, 14А, 15А, 16А. У основному цей електрокорунд випускається марки 15А, що має 95% Al_2O_3 . Він має колір від сіро-коричневого до темно-коричневого і від рожевого до темно-червоного. Застосовується для менш відповідальних кругів при шліфуванні сталей, ковких чавунів і твердої бронзи.

Електрокорунд білий

Електрокорунд білий містить більше 97% Al_2O_3 і позначається 2А. Випускається чотири марки: 22А, 23А, 24А та 25А. Марка 22А містить 97%, марки 24А і 25А мають 99% і більш Al_2O_3 . Має білий, сірувато-білий або ядро-рожевий колір. Є твердішим, ніж нормальний електрокорунд. Застосовується для відповідальних кругів (шліфування різьб, заточення інструмента), що виконують точні роботи,

а також для виготовлення брусків до хонінгувальних і суперфінішних головок.

Електрокорунд хромовий

Електрокорунд хромовий (технічний рубін⁴). Виготовляють так само, як й електрокорунд білий з глинозему з добавкою від 0,4 до 2% окису хрому Cr_2O_3 . Він містить до 97% Al_2O_3 .

Зерна хромового електрокорунду в порівнянні з білим мають більш високу стабільність фізико-механічних властивостей і містять більший відсоток монокристалів. Він твердіший, ніж білий електрокорунд. Хромовий електрокорунд за кольором схожий з рубіном, має темно-рожеве або темно-вишневе забарвлення. Позначається 3А і має марки: 32А, 33А та 34А.

Електрокорунд титановий

Електрокорунд титановий (технічний сапфір⁵) виготовляють шляхом плавки глинозему з присадками 2–3% окисів титану. Його зерна мають підвищену різальну здатність, він твердіший за хромовий електрокорунд, позначається як 3А і випускається під маркою 37А.

Електрокорунд цирконієвий

Електрокорунд цирконієвий виготовляють із глинозему, двоокиси цирконію до 10...40% й оксидів титану. Твердіший і зносостійкий, чим титановий електрокорунд. Випускається під маркою 38А.

Монокорунд

Монокорунд, один з різновидів електрокорунду, зерна якого складаються з окремих кристалів або їх осколків. Містить до 97% Al_2O_3 . Твердість його вища за білий електрокорунд. Позначається 4А і має марки: 43А, 44А та 45А. Його особливість – наявність великої кількості граней, а отже, і різальних кромок зерна.

Із збільшенням розміру зерна структура монокорунду погіршується і знижується міцність. Застосовується для швидкісних заточувальних кругів, а також для мікропорошків.

⁴Не плутати з коштовним камінням.

⁵Технічний сапфір був вперше отриманий у 1904 р. французом Огюстом Вернеєм Auguste Victor Louis Verneuil (3 November 1856 – 27 April 1913).

4.3 Карбіди

Карбід кремнію

Карбід кремнію SiC виготовляють в електропечах при температурі $1800 \dots 1850^\circ\text{C}$ з матеріалів багатих кремнеземом (кварцевий пісок) і матеріалів з високим вмістом вуглецю (нафтовий кокс, антрацит і таке інше).

Карбід кремнію має більшу твердість і крихкість ніж електрокорунд, має гостріші різальні кромки. Він поділяється на чорний та зелений карбід кремнію.

Карбід кремнію чорний

Карбід кремнію чорний позначається як 5С, містить від 95 до 98% SiC і має чорний або темно-синій колір. Він випускається марок: 52С, 53С, 54С і 55С. Марка 52С містить 95%, а марка 55С майже 98% карбіду кремнію.

Карбід кремнію чорний застосовують для заточування інструментів, для шліфування твердих сплавів, твердих і крихких металів (чавун, бронза та її сплави).

Карбід кремнію зелений

Карбід кремнію зелений позначається як 6С, містить більше 97% SiC . Має колір від ясно-зеленого до темно-зеленого. Випускається марок: 62С, 63С та 64С. Марка 62С містить 97% SiC , марка 63С містить 98% SiC , марка 64С має 99% карбіду кремнію.

Карбід кремнію зелений кращий за чорний карбід кремнію, має гостріші різальні кромки. Застосовується для заточування швидко-різальних і твердосплавних інструментів, для правки шліфувальних кругів, у відповідальних випадках шліфування. За експлуатаційними параметрами він кращий ніж чорний карбід кремнію.

Карбід бору

Карбід бору B_4C отримують під час плавки борної кислоти B_2O_3 і нафтового коксу в електричних печах. Він має сірувато-чорний колір. Містить до 93% B_4C та 1,5% вільного вуглецю.

Карбід бору твердіший, ніж карбід кремнію, але у нього нижче термостійкість. Тому застосовується у вигляді дрібних порошоків або паст для доведення твердосплавних інструментів.

4.4 Кубічний нітрид бору

Це новий синтетичний надтвердий матеріал, котрий виготовляють із нітриду бору (BN), що містить 43,6% бору і 56,4% азоту. Він має таку ж, як і графіт гексагональну кристалічну решітку.

При тиску 100 тисяч атмосфер і температурі до 2500°С гексагональна решітка нітриду бору перетворюються на щільнішу і твердішу кубічну кристалічну решітку, тобто у кубічний нітрид бору.

Кубічний нітрид бору (КНБ) – це дуже твердий, теплостійкий і хімічно стійкий матеріал. За твердістю він близький до алмазу. Але теплостійкість КНБ становить 1300°С, що значно перевершує теплостійкість алмазу.

На відміну від алмазу кубічний нітрид бору хімічно інертний до залізовуглецевих сплавів, він не вступає з ними у взаємодію. Це особливо важливо при заточуванні швидкорізальних інструментів, коли контактна температура в зоні різання досягає 1000°С і більш.

Зауваження 1. Абразивні круги із кубічного нітриду бору можуть обробляти (шліфувати) сталеві вироби (оправки інструментів).

Зауваження 2. Абразивні круги із алмазів не можуть обробляти (шліфувати) сталеві вироби (оправки інструментів) – вуглець алмазу хімічно реагує із залізом оправки.

Кубічний нітрид бору випускається під різними назвами:

- боразон – фірма "Дженерал електрик" (Америка);
- кубоніт – завод Інституту надтвердих матеріалів (Київ);
- ельбор – абразивний завод у Санкт-Петербурзі (Росія).

Боразон, кубоніт й ельбор це один і той же матеріал – кубічний нітрид бору. Але вони істотно відрізняються за фізико-механічними властивостями, залежно від особливостей технології їх виробництва.

Залежно від розміру зерен ельбор і кубоніт виготовляють двох груп: шліфпорошки і мікропорошки.

Шліфпорошки використовують для виготовлення абразивних кругів у інструментальному виробництві. Вони мають зернистість:

250/200	200/160	160/125	125/100
100/80	80/63	63/50	50/40

Круги й інші інструменти з ельбору й кубоніту мають підвищену різальну здатність; високу стійкість робочого профілю, що забезпечує високу точність обробки; меншим тепловиділенням, що підвищує якість обробленої поверхні; меншим, а у ряді випадків відсутнім засалюванням.

Застосування. Найефективніше застосовувати ельборові і кубонітові круги при заточуванні і доведенні швидкорізальних інструментів.

Форми кругів з ельбору і кубоніту принципово ті ж, що й інших абразивних інструментів.

4.5 Алмази

Природні алмази кристалізувалися на великій глибині земних надр при величезному тиску та високій температурі 2000-2500° С з розплавленої магми, що містить вуглець.

Технічні алмази розділяються на такі групи:

- бортсы – вагою від 1/4 до I карата
- балласы – від I/4 до 2-х карат
- і карбонадо – вагою 1/4 до 3-х карат.

У 1 караті 0,2 грама. Один карат алмазу – це куб з гранню 3 мм. Найбільш кращі з них – карбонадо. Це тонкозернисті тверді і щільні кристали, що мають гострі ребра.

Враховуючи дорожнечу природних алмазів, а також їх недостатність для задоволення потреб промисловості, Київський Інститут надтвердих матеріалів у 1961 році почав промислове виробництво синтетичних алмазів із графіту при тиску до 100 тис. атмосфер і при температурі 2000° С, тобто за тих же умов при яких утворився природний алмаз⁶.

Англійський учений Холу і вчений з Німеччини Вейсмантель у 1977 р. розробили нову технологію отримання штучних алмазів за якою відпадає потреба у високій температурі і високому тиску при створенні алмазів.

У даний час синтетичний алмаз у 4-6 разів дешевше природного.

⁶Уперше алмаз спробував синтезувати російський хімік В. Каразин, якому ще в 1823 р. при сухій перегонці деревини вдалося одержати дрібні кристали.

Найефективніше алмазні інструменти застосовуються при обробці твердих і крихких матеріалів – твердих сплавів, напівпровідників (германій, кремній), рубінів, кераміки, мармуру, скла та ін.

Твердосплавні інструменти, заточені й доведені алмазними кругами, мають збільшену в 2-3 рази стійкість.

4.6 Застосування абразивів

Матеріали

Електрокорунд нормальний 14А, 15А, 16А

Заточування різальних інструментів із вуглецевої інструментальної сталі. Можливе шліфування сталевих оправки інструмента.

Електрокорунд білий 23А, 24А, 25А

Заточування різальних інструментів із швидкорізальної інструментальної сталі нормальної продуктивності. Можливе шліфування сталевих оправки інструмента

Електрокорунд хромистий 32А, 33А, 34А

Заточування різальних інструментів із швидкорізальної інструментальної сталі підвищеної продуктивності. Можливе шліфування сталевих оправки інструмента.

Монокорунд 43А, 44А, 45А

Заточування різальних інструментів із швидкорізальної інструментальної сталі підвищеної продуктивності. Шліфування сталевих оправки інструмента не бажане.

Карбід кремнію зелений 63С, 65С

Заточування різальних інструментів із твердого сплаву. Можливе шліфування сталевих оправки інструмента. Доводка передніх та задніх поверхонь різального леза.

Карбід бору

Заточування різальних інструментів із твердого сплаву. Шліфування сталевих оправки інструмента не бажано.

Кубічний нітрид бору

Заточування різальних інструментів із швидкорізальних сталей. Допустимо шліфування сталеві оправки інструмента.

Інструмент

Застосування кругів із різних абразивних матеріалів та різної зернистості залежить від типу оброблення.

Швидкорізальні сталі

Заточування інструментів із швидкорізальних сталей:

- | | |
|---------|---|
| Чорнова | – електрокорунд зернистість 40. . . 25. |
| Чистова | – електрокорунд зернистість 16. . . 10;
– ельбор зернистість 12. . . 10;
– кубоніт зернистість 100/80. . . 80/63. |
| Доводка | – ельбор зернистість 8. . . 6;
– кубоніт зернистість 63/50. . . 50/40;
– карбід кремнію зернистість 6. . . 5. |

Твердий сплав

Заточування інструментів із твердого сплаву:

- | | |
|---------|--|
| Чорнова | – карбід кремнію зернистість 40. . . 25;
– синтетичний алмаз зернистість 125/100. |
| Чистова | – синтетичний алмаз зернистість 80/63. |
| Доводка | – карбід бору зернистість 4. . . 3. |

4.7 Питання для самоконтролю

1. Дайте опис терміну “абразивний матеріал”.
2. Що характеризує зернистість абразивного матеріалу?
3. У яких одиницях позначають (вимірюють) зернистість абразивного матеріалу?
4. За якою технологією отримують електрокорунд?
5. Перелічить основні марки електрокорундів.
6. Як маркують різні марки абразивних матеріалів?
7. Що таке карбіди кремнію?
8. Перелічить абразивні матеріали виготовлені на основі карбіду кремнію.
9. Для оброблення яких інструментальних матеріалів застосовують електрокорунди?
10. Для оброблення яких інструментальних матеріалів застосовують карбіди кремнію?
11. Назвіть основний компонент абразивного матеріалу отриманого на основі кубічного нітриду бору?
12. При якій температурі отримують кубічний нітрид бору?
13. Для оброблення яких інструментальних матеріалів застосовують кубічний нітрид бору?
14. На які групи поділяють технічні алмази?
15. Для оброблення яких інструментальних матеріалів застосовують технічні алмази?
16. Матеріали якої зернистості застосовують для чорнового оброблення інструментальних сталей?
17. Матеріали якої зернистості застосовують для чистового оброблення інструментальних сталей?
18. Матеріали якої зернистості застосовують для чорнового оброблення твердих сплавів?
19. Матеріали якої зернистості застосовують для чорнового оброблення твердих сплавів?

5 ПЕРСПЕКТИВНІ МАТЕРІАЛИ

5.1 Покриття

Нанесення тонкого зносостійкого покриття, товщиною 5-10 мкм, на тверді сплави є вельми перспективним способом зміцнення поверхневого шару і підвищення різальних властивостей інструментів. Цей спосіб, головним чином, реалізується на багатогранних непереточуваних пластинках.

Ефективність способу залежить від складу, товщини шару і технології нанесення покриття. У промисловості отримали застосування два способи покриття: осадження з газової фази і термодифузійний.

Для покриття пластин, в основному, застосовуються карбіди і нітриди титана (TiC і TiN) або їх поєднання – карбонітриди. Їх наносять на поверхню різального леза одним, двома та декількома шарами різними способами.

Підвищення зносостійкості покритих пластин відбувається внаслідок низької теплопровідності і високої теплостійкості покриття, яке в той же час зменшує коефіцієнт тертя.

Одношарове покриття TiC є досить крихким. Одношарове покриття TiN цього недоліку не має, але поєднання його з пластинкою виходить неміцним. Тому пластини з одношаровим покриттям рекомендується застосовувати для напівчистої обробки сталей і чавунів при спокійному навантаженні. Стійкість пластин з покриттям підвищується від 3-х до 8 разів.

Дво- і тришарове покриття підвищує в'язкість і забезпечує вищу міцність з'єднання покриття та платини, що підвищує стійкість пластини в 4...5 разів у порівнянні з одношаровим покриттям. Як результат – пластини можуть добре працювати в умовах переривистого різання.

Зауваження. Треба мати на увазі, що яким би гарним не було покриття, однак після першого ж переточування інструмента – покриття зникає, зточується.

5.2 Мінералокераміка

Мінералокераміка⁷, як інструментальний матеріал, відома з 1950 р. У її основі знаходиться окис алюмінію Al_2O_3 (близько 95%). Тому вона отримала назву оксидної різальної кераміки.

Отже, мінералокераміка це окис алюмінію Al_2O_3 – відомий як корунд. Корунд за своєю природою – неметалевий матеріал. Фактично корунд – це кераміка з низькою теплопровідністю. Чистий корунд є білим напівпрозорим матеріалом, що нагадує фарфор. Він має низьку ударну в'язкість і межу міцності на вигин втричі меншу, ніж у твердого сплаву.

Різальну кераміку виготовляють методом спікання. Порошок, на основі дрібнозернистого корунду (менше 5 мкм), пресують і спікають у формі. Таким методом була отримана перша різальна кераміка, так звана біла різальна кераміка (ЦМ332).

Сфера застосування кераміки – чистова обробка твердого сірого чавуну, загартованих сталей, високо-хромистих алюмінієвих сплавів. Проте, через низьку міцності оксидну, білу кераміка в теперішній час практично не застосовують. Замість неї використовують досконаліші різновиди різальної кераміки. Нині промисловість випускає декілька груп різальної кераміки:

- оксидну (застаріла біла кераміка) на основі Al_2O_3 ;
- оксидно-карбідну (чорна кераміка) на основі $Al_2O_3 + TiC$;
- оксидно-нітридну (кортиніт) на основі $Al_2O_3 + TiN$;
- і нітридну кераміку на основі Si_3N_4 .

У порівнянні з твердими сплавами різальна кераміка має вищу твердість (до HRA 95), підвищену теплостійкість (до 1400°С), високу зносостійкість, знижену схильність до схоплювання з оброблюваним матеріалом.

У теперішній час матеріалом для виготовлення різальної кераміки є тонко подрібнений (розмір зерна 1...2 мкм) порошок корунду – штучному окису алюмінію, отриманого прожаренням технічного глинозему при температурі 1500...1700°С.

Корунд, як початкова сировина, є дешевим і в природі є удосталь. Проте з огляду на те, що технологічний процес виготовлення пласти-

⁷<http://toolmaterials.narod.ru/3.html> ; [http://libraryno.ru/11-3 - rezhuschaya - keramika - rezmatnew/](http://libraryno.ru/11-3-rezhuschaya-keramika-rezmatnew/) ; [https://studfiles.net/preview/2688745/page :23/](https://studfiles.net/preview/2688745/page:23/) [д/з 20.06.2018]

нок різальної кераміки, подібний виготовленню пластинок твердого сплаву – пластинки кераміки не дешевші за твердосплавні.

У той же час, якщо граничний рівень швидкостей різання для твердосплавного інструмента при точінні сталей з тонкими зрізами і малими критеріями затуплення складає 500...600 м/хв, то для інструмента, оснащеного різальною керамікою, цей рівень збільшується до 900...1000 м/хв.

Проте основною умовою працездатності кераміки є використання промислового устаткування, що має високу жорсткість. Поява щонайменших ознак вібрацій різко підвищує вірогідність механічного руйнування керамічного інструмента.

До недоліків різальної кераміки слід також віднести низьку ударну в'язкість і малий опір циклічним змінам теплового навантаження. Тому при різанні керамікою охолодження не застосовують.

Режими обробки інструментами з різальної кераміки при обробці різних матеріалів коливається в досить широких межах: швидкість різання $v = 100 \dots 700$ м/хв; подача $s = 0,04 \dots 0,06$ мм/об; глибина різання $t = 0,3 \dots 2,5$ мм.

У теперішній час промисловість застосовує такі основні типи різальної кераміки:

оксидна ЦМ332	$Al_2O_3-99\% + MgO-1\%$	HRA 91
оксидна В-13	$Al_2O_3-99\%$	HRA 92
оксидна ВШ-75	Al_2O_3	HRA 91-92
оксикарбід В-3	$Al_2O_3-60\% + TiC-40\%$	HRA 94
оксикарбід ВОК-63	$Al_2O_3-60\% + TiC-40\%$	HRA 94
оксикарбід ВОК-71	$Al_2O_3-60\% + TiC-40\%$	HRA 94
оксиніт ОНТ-20 (кортиніт)	$Al_2O_3 > 60\% + TiN-30\%$	HRA 90-92
нітрид РК-30 (силініт-Р)	$Si_3N_4 + Y_2O_3 + TiC$	HRA 94

Різальну кераміку випускають у вигляді змінних пластин, що не підлягають переточуванню. Пластини виготовляють з фасками по периметру з двох сторін розміром $f = 0,2 \dots 0,8$ мм. Фаска потрібна для зміцнення різальної кромки.

Останніми роками з'явилися нові марки оксидної кераміки до складу яких введено окис цирконію (ZrO_2) з армуванням "ниткоподібними" кристалами карбіду кремнію (SiC). Армована кераміка має високу твердість (HRA – 92) і підвищену міцність.

Одночасно, з вдосконаленням керамічних матеріалів на основі оксиду алюмінію, створені нові марки різальної кераміки на основі нітриду кремнію (силініт-Р). Цей керамічний матеріал має високу міцність на вигин, низький коефіцієнт термічного розширення, що

вигідно відрізняє його від оксидних керамічних матеріалів. Це дозволяє з успіхом використовувати нітридокремнієвий інструмент для чорнового точіння, напівчистового фрезерування чавуну, а також чистового точіння високолегованих та термооброблених сталей і сплавів.

Зараз керамічний інструмент рекомендують для чистової обробки сірих, ковких, високоміцних і вибілених чавунів, низько- і високолегованих сталей, у тому числі поліпшених, термооброблених, кольорових сплавів, конструкційних полімерних матеріалів. У вказаних випадках інструмент, оснащений пластинами з різальної кераміки, помітно перевершує за працездатністю твердосплавний інструмент.

Застосовують мінералокекrameіку тільки для чистового оброблення при безперервному різанні з малою глибиною різання – декілька десятих частин міліметра (0,1...0,2 мм).

Оброблюваний матеріал	Марка кераміки
сталь конструкційна вуглецева	ВО-13, ВШ-75, ЦМ-332
сталь конструкційна легована	ВО-13, ВШ-75, ЦМ-332
сталь покращена	ВШ-75, ВО-13, ВОК-60 Сілініт - Р
сталь цементована загартована	ВОК-60, ОНТ-20
чавун сірий	ВО-13, ВШ-75, ЦМ-332
чавун ковкий	ВШ-75, ВО-13
чавун вибілений	ВОК-60, ОНТ-20, В-3
мідні сплави	В-3, ОНТ-20
нікелеві сплави	Силініт-Р, ОНТ-20

Одним з методів поліпшення властивостей різальної кераміки є нанесення на робочі поверхні керамічного інструмента зносостійких покриттів.

Застосування керамічного інструмента при переривчастому різанні різко знижує його ефективність внаслідок високої вірогідності крихкого руйнування різальної частини інструмента.

Багато в чому це пояснює порівняно низький об'єм використання в промисловості України керамічного інструмента (до 0,5% від загального об'єму різального інструмента). Для розвинених країн Заходу цей об'єм складає від 2 до 5%. Однак, аналіз тенденцій розвитку різальної кераміки свідчить про хороші перспективи цього матеріалу в найближчому майбутньому.

5.3 Полікристалічні надтверді матеріали

Вони є різновидом кубічного нітриду бору і синтетичного алмазу. У теперішній час випускаються дві групи таких матеріалів – полікристалічні матеріали на основі щільних модифікацій нітриду бору і полікристалічні синтетичні алмази.

До першої групи відносяться композит 01 (ельбор-Р), композит 05, композит 10 (гексаніт-Р) та інші. Тут, чим вище номер композиту, тим матеріал менш твердий, але міцніший. До другої групи відносяться карбонадо і баллас.

Ці інструментальні матеріали не конкурують один з одним. Кожен з них має свою галузь застосування, визначену їх фізико-механічними властивостями та хімічним складом

По твердості полікристали на основі алмазу (карбонадо, балас) декілька перевершують композит, але значно поступаються йому по теплостійкості. Матеріали на основі нітриду бору хімічно інертні до чорних металів, а полікристалічні матеріали на основі вуглецю – до них хімічно активні. Ця відмінність, перш за все, і визначає галузь їх застосування.

Композит застосовується для обробки сталей, чавунів і низки важкооброблюваних сплавів.

Полікристалічні алмази застосовують для обробки кольорових металів, кераміки, склопластиків, твердих сплавів, титанових сплавів і інших матеріалів.

Надтверді полікристалічні матеріали випускають у вигляді циліндрів діаметром 3,6...5 мм і заввишки 4...5 мм або у вигляді пластин для різців, фрез, розверток і інших інструментів. З композиту і карбонадо виготовляють пластинки для різців розточувальних, прохідних, підрізних.

Їх ефективність дуже висока. При точінні загартованих швидкорізальних сталей стійкість їх вище в десятки разів, чим різців із твердого сплаву Т30К4 при швидкості різання 60...120 м/хв., подачі 0,02...0,1 мм/об і глибині різання 0,1...0,3 мм. Проте інструменти з композиту застосовують тільки при чистовій обробці.

На відміну від шліфування, при обробці різцями з композиту, в поверхневому шарі не відбувається структурних перетворень, створюються внутрішні напруження, що стискають, а не розтягують, відсутнє шаржування абразивом.

5.4 Питання для самоконтролю

1. Що таке мінералокераміка та яка галузь її застосування?
2. Що таке полікристалічні матеріали та яка галузь їх застосування?
3. Назвіть марку полікристалічного матеріалу.
4. Яку галузь застосування має полікристалічний матеріал марки ельбор-Р?
5. Вкажіть орієнтовну товщину зносостійкого покриття.
6. Які матеріали застосовують для виготовлення зносостійкого покриття?
7. Для чого зносостійкі покриття роблять багатошаровими?
8. У скільки разів (орієнтовно) збільшується стійкість інструмента з покриттям?
9. Назвіть галузь застосування мінералокераміки.
10. Що таке біла, сіра та чорна кераміка?
11. Який хімічний елемент є основним для виготовлення мінералокераміки?
12. Чи застосовують корунд для виготовлення мінералокераміки?
13. Чи застосовують мінералокераміку для оброблення міді?
14. Яка найбільша швидкість різання під час роботи інструментом із мінералокераміки?
15. Чи відбуваються зміни у поверхневих шарах деталі під час її оброблення інструментом виготовленим із мінералокераміки?
16. У чому різниця між кристалічними та полікристалічними матеріалами?

Частина III

РІЗАННЯ МЕТАЛІВ

6 ПРОЦЕС РІЗАННЯ

6.1 Загальні визначення

Під процесом різання розуміють оброблення різальним інструментом матеріалів із зрізуванням стружки ¹.

Різальний інструмент

Інструмент для оброблення різанням.

Оброблення різанням [різання]

Оброблення, яке полягає к утворенні нових поверхонь шляхом відділення поверхневих шарів матеріалу з утворенням стружки.

Принципова схема різання та фізичні елементи, що супроводжують оброблення різанням показані на рис. 6.1.

Оброблювана поверхня

Видалення припуску із заготовки у процесі різання здійснюється шляхом проникнення різального інструмента у матеріал оброблюваної заготовки та їх відносного переміщення.

Оброблювана поверхня

Під оброблюваною поверхнею розуміють поверхню заготовки, яка частково або повністю видаляється при обробці.

Отже, оброблювана поверхня, це та поверхня заготовки яку обробляють.

¹Терміни та визначення цього розділу наведені відповідно до стандартів:
ДСТУ 2233-93 Інструменти різальні. Терміни та визначення.
ДСТУ 2249-93 Оброблення різанням. Терміни, визначення та позначення.

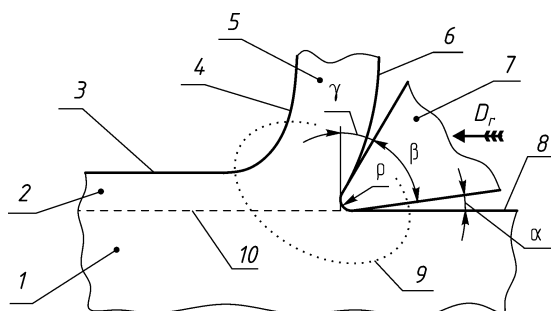


Рис. 6.1. Операція різання [8]

- 1 – заготовка, що підлягає обробленню;
- 2 – зрізаний шар матеріалу;
- 3 – оброблювана поверхня (та, що підлягає обробленню);
- 4 – зовнішня поверхня стружки;
- 5 – стружка, що утворюється в процесі різання;
- 6 – внутрішня поверхня утвореної стружки;
- 7 – різальне леза інструмента;
- 8 – оброблена поверхня (поверхня утворена в результаті різання);
- 9 – зона різання;
- 10 – площина різання;
- γ – передній кут різального леза;
- α – задній кут різального леза;
- β – кут загострення різального леза;
- ρ – радіус округлення різальної кромки леза;
- D_r – рух різання.

Зауваження. Як би гостро не було загострено лезо – воно завжди буде мати деяке округлення. Зазвичай, добре загострене лезо різального інструмента має радіус округлення леза, приблизно $\rho \approx 5$ мкм.

Оброблена поверхня

Результатом видалення оброблюваної поверхні є утворення нової поверхні – обробленої поверхні.

Оброблена поверхня

Оброблена поверхня це поверхня, утворена на заготовці в результаті видалення шару матеріалу (припуску).

Форма і розміри обробленої поверхні залежать від форми різальної кромки леза та взаємного руху інструмент/деталь.

Зрізуваний шар

З того моменту часу, коли зрізуваний шар перетинає умовну площину, що називається площиною зрушення, він стає стружкою. Зрізана стружка має зовнішню поверхню, а також внутрішню поверхню (ту, що контакту із різальним лезом). Іноді (здебільшого у старій літературі) внутрішню поверхню стружки називають “опорною”.

Геометричні параметри

Геометричні параметри це кути, які визначають орієнтацію окремих елементів різального леза. Кут загострення β , різального леза інструмента, визначається переднім γ і заднім α кутами (більш детально див. розділ 6.3.5 на с. 79).

Великий вплив на міцність різального леза, можливу глибину різання та опір оброблюваного матеріалу проникненню різального клину, має радіус округлення різальної кромки ρ .

Зона різання

Зона різання 9 (рис. 6.1) – це частина оброблюваного матеріалу, в якому відбуваються фізико-механічні процеси і явища, необхідні для утворення нових поверхонь. У контакті із зоною різання знаходиться різальний клин інструмента.

Конфігурація зони різання обмежується зовнішньою поверхнею зрізуваного шару, опорною частиною стружки, межею поширення пружних і пластичних деформацій під дією задньої поверхні інструмента, що рухається.

Види різання

У основі відомих процесів різання лежать три, відносно різні, механізми зрізування припуску, що дозволяє їх класифікувати за ознакою часу контакту інструмент/заготовка [8].

Отже, за ознакою часового проміжку контакту інструмент/деталь розрізняють такі види різання:

- безперервне різання (рис. 6.2,а);
- дискретне різання (рис. 6.2,б);
- стохастичне ² різання (рис. 6.2,в).

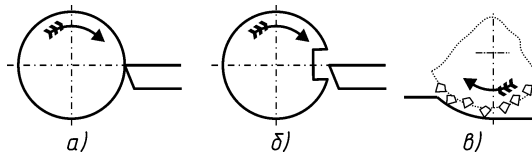


Рис. 6.2. Види різання

Безперервне різання

Різання, в якому знімання матеріалу здійснюється безперервно, впродовж деякого проміжку часу.

При безперервному різання, різальні елементи інструмента (різальні кромки) контактують із оброблюваною заготовкою весь проміжок часу оброблення (наприклад – токарне точіння) або впродовж одного робочого ходу (наприклад – стругання³).

Дискретне різання

Різання, в якому видалення припуску відбувається з детермінованими умовами обробки геометрично визначеними різальними лезами.

²Стохастичний – випадковий, непередбачуваний, не підлягає статистичним законам і не може бути визначений наперед.

³Під час стругання стружку зрізують поступово на кожному одному робочому ході інструмента. Тобто здійснюється почергова зміна робочого та холостого ходу інструмента.

При дискретному різанні, різальні елементи вступають у контакт із заготовкою на короткий проміжок часу, багатократно повторюючи цей процес ... ріже/неріже... і т.д. (наприклад – фрезерування).

Стохастичне різання

Різання із зніманням матеріалу статистично невизначеними різальними елементами.

При стохастичному різанні неможливо наперед визначити, який саме конкретний різальний елемент буде контактувати із заготовкою, Таке оброблення характерне тільки для абразивного інструмента, коли наперед невідомо яке абразивне зерно вступить у роботу.

Особливості процесу різання

Лезове оброблення різанням має особливості, якими воно принципово відрізняється від інших методів формоутворення і які необхідно враховувати при їх аналізі [8, стор. 30].

Визначеність умов взаємодії

Геометрично визначувані умови взаємодії різального клину інструмента з оброблюваною заготовкою. Ці умови визначаються досить точно як у статиці, так і в динаміці процесу різання, включаючи можливі коливання різальної кромки під час оброблення.

Безперервність силової взаємодії

Безперервна (у заданому проміжку часу) силова дія на оброблюваний матеріал і переміщення різального клину, відносно оброблюваної поверхні заготовки, з характерним розподілом навантаження по вдавлюваній поверхні різального клину.

Наявність стружки

Формоутворення з видаленням надмірного матеріалу у вигляді стружки – твердого тіла із збереженням принципових властивостей початкового матеріалу (на відмінність, наприклад від фізико-хімічних методів обробки, в яких надмірний матеріал розчиняється або випаровується).

Руйнація заготовки

Підтримка в процесі різання оброблюваного матеріалу у критичному структурному стані, що забезпечує його кероване руйнування (видалення стружки).

Зауваження. Вказані вимоги і особливості ідентифікують лезове оброблення різанням, як самостійний технологічний процес знімання матеріалу, що не має аналогів.

6.2 Схеми різання

Різнання це складний процес одночасного деформування та руйнації матеріалу заготовки. Під час відділення стружки утворюється нова поверхня деталі заданої форми та розміру.

Найбільш сприятливою формою різального інструмента є клино-подібна форма леза. Різні інструменти мають різну форму різального леза, але є тільки три схеми відділення стружки від заготовки:

- вільне прямокутне (ортогональне) різання (рис. 6.3,а);
- вільне косокутне (неортогональне) різання (рис. 6.3,б);
- невільне різання (ортогональне та неортогональне) (рис. 6.3,в).

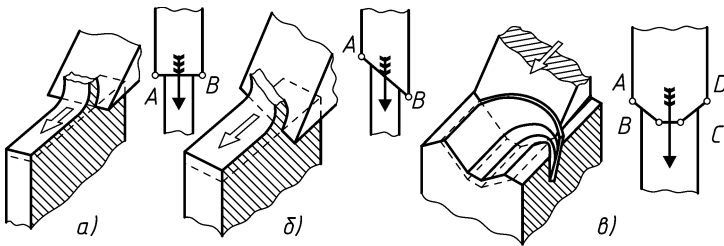


Рис. 6.3. Схеми різання

Вільне прямокутне різання

При такій схемі різання (рис. 6.3,а) у роботі інструмента приймає участь тільки одна різальна кромка (AB), яка розташована перпендикулярно (ортогонально) по відношенню до напрямку швидкості різання.

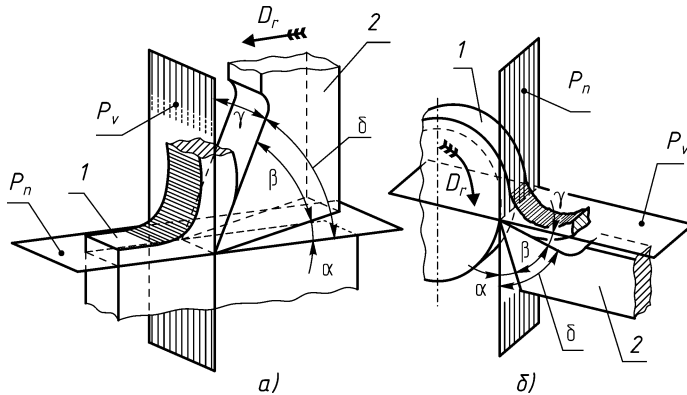


Рис. 6.4. Вільне ортогональне різання
[За В.А. Кривоуховим]

- a* – операція стругання на стругальному верстаті;
- б* – операція точіння на токарному верстаті;
- 1* – оброблювана поверхня (та, котру обробляють);
- 2* – оброблена поверхня (та, яку обробили);
- P_v – основна площина;
- P_n – площина різання;
- D_r – рух різання;
- α – задній кут леза;
- γ – передній кут леза;
- β – кут загострення леза;
- δ – кут різання.

Вільному прямокутному різанню притаманне вільне сходження стружки, яке співпадає з напрямом швидкості різання (напрямом руху інструмента).

На 6.4 зображені варіанти вільного прямокутного різання для технологічних операцій стругання та точіння.

Вільне косокутне різання

При такій схемі різання (рис. 6.3,б) у роботі інструмента приймає участь тільки одна різальна кромка (AB), але вона розташована не перпендикулярно (не ортогонально) по відношенню до напрямку швидкості різання.

При вільному різанні ніщо не обмежує стружку, окрім передньої поверхні леза по якій вона і сходить, при цьому різальна кромка прямолінійна.

При вільному косокутному різанні різальна кромка розташована, по відношенню до вектора швидкості різання, під деяким кутом. Це кут називають – кут нахили різальної кромки і позначають як λ .

Вільному косокутному різанню притаманне сходження стружки в напрямку, який не співпадає з напрямом швидкості різання (напрямом руху інструмента). Зрізана стружка відхиляється в бік нахилу різальної кромки.

З точки зору різання вільне не прямокутне різання – найкращий спосіб різання, який супроводжується мінімальними зусиллями та температурами різання (при однакових інших умовах).

Невільне різання

При такій схемі різання (рис. 6.3,в) у роботі інструмента приймає участь декілька різальних кромки (AB , BC та CD). які розташовані під деяким кутом одна відносно одної.

При невідільному різанні різальні кромки розташовані під різними кутами, по відношенню до вектора швидкості різання. Стружка сходить у різних напрямках або стикаючись одна з одною (як зображено на рисунку), або навпаки – розходячись у різні сторони.

Випадок зображений на рис. 6.3,в є найгіршим варіантом різання. Зрізана стружка ущільнюється в оброблюваній канавці, що призводить до підвищення зусиль різання та пакетування стружки. Тому схеми невідільного різання стараються уникати.

6.3 Елементи різального леза

Різальне лезо

Різальний інструмент виконує видалення припуску на оброблення за допомогою різального леза (рис. 6.5 та 6.6).

Лезо інструмента [лезо]

Клиноподібний елемент різального інструмента для проникнення в матеріал заготовки та відділення шару матеріалу.

Поверхні леза

Різальне лезо інструмента має такі різальні елементи (рис. 6.5):

- передню поверхню A_γ , по якій сходиться стружка;
- задню поверхню A_α , звернену до оброблюваного предмета;
- різальну кромку K , утворену перетином передньою A_γ і задньою A_α поверхонь.

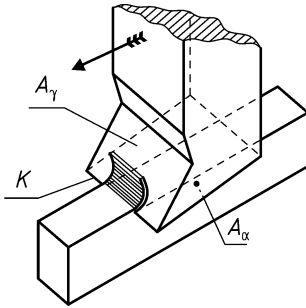


Рис. 6.5. Поверхні леза

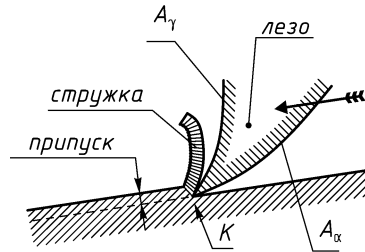


Рис. 6.6. Різальний клин

Взаємне розташування різальних елементів утворює клиноподібну форму тіла інструмента в перерізі, нормальному до різальної кромки (рис. 6.6).

6.3.1 Передня поверхня леза

Передня поверхня A_γ (рис. 6.7) різального леза це найвологіша поверхня, що приймає участь у процесі різання та відділення стружки.

Передня поверхня леза [передня поверхня]

Поверхня леза інструмента, яка контактує в процесі різання зі зрізуваним шаром та стружкою.

Залежно від типу різального інструмента від 80 до 90% усіх процесів, що супроводжують різання, відбуваються на передній поверхні леза.

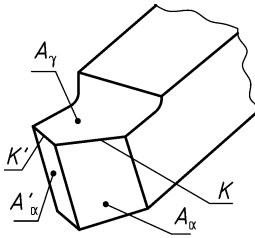


Рис. 6.7. Елементи різця

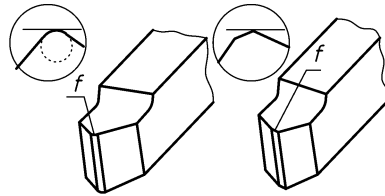


Рис. 6.8. Перехідні елементи

6.3.2 Задні поверхні леза

Задні поверхні різального леза обмежують його габарити зі сторони протилежної передній поверхні⁴.

Задня поверхня леза [задня поверхня]

Поверхня леза інструмента, яка контактує в процесі різання з поверхнею оброблюваної заготовки.

Розрізняють дві задні поверхні (рис. 6.7):

- головну задню поверхню A_α ;
- та допоміжну задню поверхню A'_α .

Головна задня поверхня A_α

Задня поверхня леза інструмента, що прилягає до головної різальної кромки K .

Допоміжна задня поверхня A'_α

Задня поверхня леза інструмента, що прилягає до допоміжної різальної кромки K' .

⁴Отже, різальне лезо – це матеріал інструмента обмежений передньою і задньою поверхнями.

6.3.3 Кромки леза

Взаємний перетин передньої A_γ та задньої A_α поверхонь леза утворюють різальну кромку K леза. Загалом її форма може бути будь-якою. Але здебільшого це пряма або радіусна лінія.

Різальна кромка

Кромка леза інструмента, утворена перетином передньої та задньої поверхні леза.

Залежно від конструкції і призначення інструменти можуть мати одну, декілька або безліч передніх і задніх поверхонь та різальних кромок.

Різальні кромки леза різального інструмента розділяються на декілька різновидів, залежно від їх призначення (рис. 6.7):

- головна різальна кромка K ;
- допоміжна різальна кромка K' ;
- і перехідна різальна кромка f (рис. 6.8).

Цих елементів на інструменті може бути, як по одинці так і декілька одночасно і не обов'язково у однаковій кількості.

Головна різальна кромка

Частина різальної кромки, що формує більшу сторону перерізу зрізуваного шару.

Допоміжна різальна кромка

Частина різальної кромки, що формує меншу сторону перерізу зрізуваного шару.

Перехідна різальна кромка [перехідна фаска]

Перехідними називаються різальні кромки на стиках сполучення головних і допоміжних різальних кромок.

Перехідні кромки виконуються, як радіуси заокруглення або кутові фаски (рис. 6.8 на попередній сторінці).

Зауваження 1. Всі різальні кромки, не залежно від призначення, мають деякий радіус округлення ρ . Зазвичай радіус округлення дуже гострої різальної кромки добре загостреного інструмента знаходиться у межах $\rho = 4 \dots 7$ мкм.

Зауваження 2. Для порівняння – товщина аркушу звичайного зашиту приблизно 100 мкм.

6.3.4 Координатні площини

Для того, щоб виміряти геометричні параметри різальної частини інструмента в теорії різання введено поняття координатних площин, тобто площин від яких можливо виконувати відлік необхідних параметрів (зазвичай це кутові величини).

Відповідно до ДСТУ 2249-93 маємо такі координатні площини (рис. 6.9):

- основна площина P_v ;
- головна січна площина P_τ ;
- площина різання P_n .

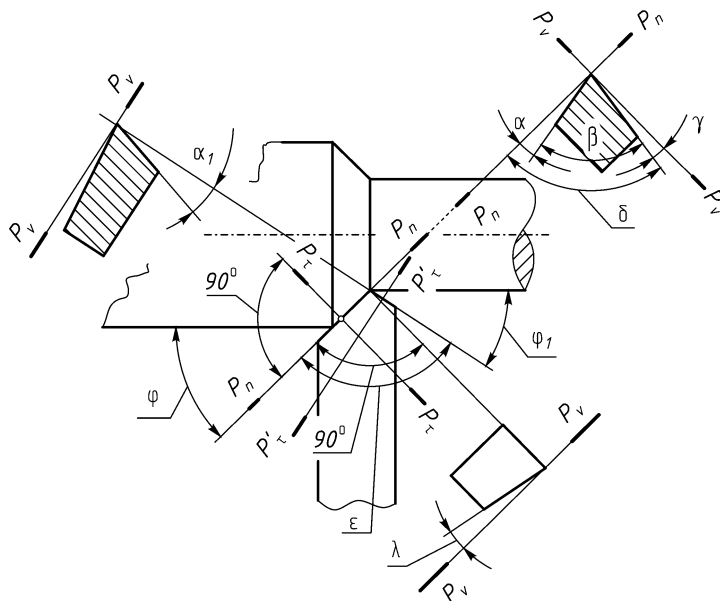


Рис. 6.9. Координатні площини

Основна площина P_v

Координатна площина, проведена через задану точку різальної кромки, перпендикулярно до напрямку головного або результатного руху різання в цій точці.

Головна січна площина P_τ

Координатна площина перпендикулярна до лінії перетину основної площини та площини різання.

Площина різання P_n

Площина, дотична до різальної кромки у заданій точці та перпендикулярна до основної площини.

Зауваження 1. Координатні площини орієнтовані відносно напрямку швидкості різання, котра у кожній точці різальної кромки має своє (різне) положення.

Зауваження 2. Отже, кожна точка різальної кромки інструмента має свої координатні площини.

Зауваження 3. Таким чином, координатні площини це не три площини єдині для всього інструмента, а окрема система площин для кожної точки різальної кромки інструмента.

Основне призначення координатних площин – визначення кутових параметрів інструмента, головним чином передніх та задніх кутів леза, які суттєвим чином впливають на весь процес різання та формуутворення.

6.3.5 Кути різального леза

Головні кути різального леза вимірюють у головній січній площині, яка перпендикулярна до проекції головної різальної кромки на основну площину (рис. 6.9).

Передній кут γ

Кут у січній площині між передньою поверхнею A_γ леза та основною площиною P_v .

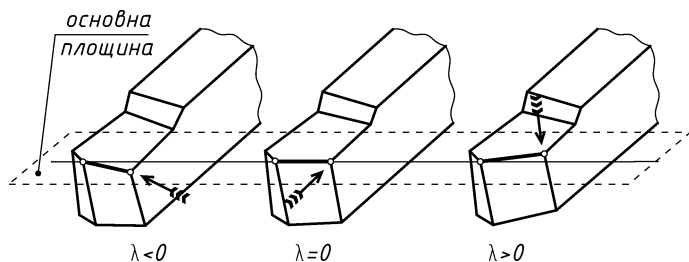


Рис. 6.10. Кут нахилу різальної кромки

Задній кут α

Кут у січній площині між задньою поверхнею A_α леза та площиною різання P_n .

Кут загострення β

Кут у січній площині між передньою A_γ та задньою A_α поверхнями леза.

Кут нахилу кромки λ

Кут у площині різання P_n між різальною кромкою K та основною площиною A_v .

Кут λ вимірюється у площині, що проходить через головну різальну кромку перпендикулярно основній площині (рис. 6.10), тобто у площині різання P_n .

Він вважається додатним, коли вершина різця є найнижчою точкою різальної кромки, негативним – коли вершина різця являється найвищою точкою різальної кромки. І дорівнює нулю, коли головна різальна кромка K є паралельною до основної площини P_v .

Проекції різальних кромки (головної K та допоміжної K') на основну площину P_v утворюють два кути (які називають кутами в плані) відносно напрямку подачі (рис. 6.11)

Кут у плані φ

Кут в основній площині між напрямом подачі та проекцією головної різальної кромки на основну площину.

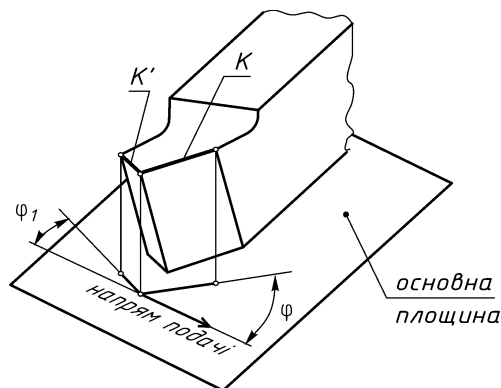


Рис. 6.11. Проекція різальної кромки

Допоміжний кут у плані φ_1

Кут в основній площині між напрямом подачі та проекцією допоміжної різальної кромки на основну площину.

Так як кут у плані відраховують від напрямку подачі, то можливо висунути два важливі твердження:

- як головний φ , так і допоміжний φ_1 кути у плані залежать не тільки від геометричних параметрів самого інструмента, але і від його орієнтації відносно напрямку подачі;
- один і той же інструмент може мати різні кути в плані залежно від його установки на верстаті.

Отже, один і той самий інструмент може мати будь-який кут у плані залежно від того, яким чином він буде орієнтований на верстаті (рис. 6.12). Тому призначаючи кут у плані необхідно враховувати напрям подачі під час роботи інструмента.

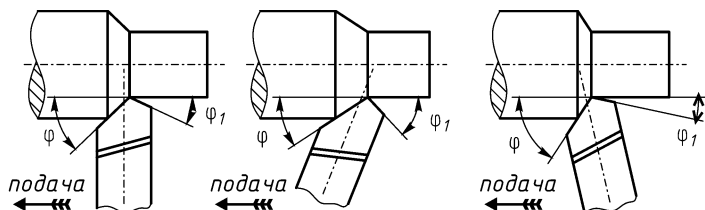


Рис. 6.12. Кути у плані

6.4 Поверхня різання

На оброблюваному предметі розрізняють оброблену поверхню, отриману після оброблення, і поверхню різання, що утворюється на оброблюваному предметі головною різальною кромкою.

Поверхня різання

Поверхня, утворена різальною кромкою в результаті різання.

Практично поверхня різання, це траєкторія різальної кромки у просторі при її русі у процесі різання (відносно нерухомої заготовки).

Наприклад, при свердлуванні (рис. 6.13) різальна кромка свердла здійснює гвинтовий рух та утворює у просторі (відносно нерухомої деталі) гвинтову поверхню різання 1. Таку ж гвинтову поверхню різання утворює кромка різця при точінні (коли прийняти, що заготовка нерухома).

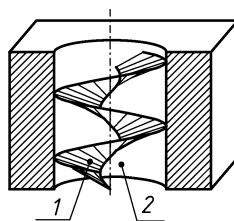


Рис. 6.13. Поверхні свердління

Отже, можливо стверджувати, що поверхня різання це траєкторії різальної кромки (саме кромки, а не леза) відносно нерухомої заготовки.

Наприклад, при свердлінні поверхня різання – гелікоїдальна гвинтова поверхня постійного кроку. При нарізуванні метричної різьби поверхня різання це поверхня різьби, що нарізують.

Зауваження. На відміну від поверхні різання оброблена поверхня, це поверхня утворена в результаті видалення припуску. Так при точінні оброблена поверхня це циліндричний вал, а при свердлуванні циліндричний отвір 2 (рис. 6.13).

6.5 Елементи різання

Елементами різання для токарного різця є (рис. 6.14):

- глибина різання t ;
- подача s ;
- швидкість різання v .

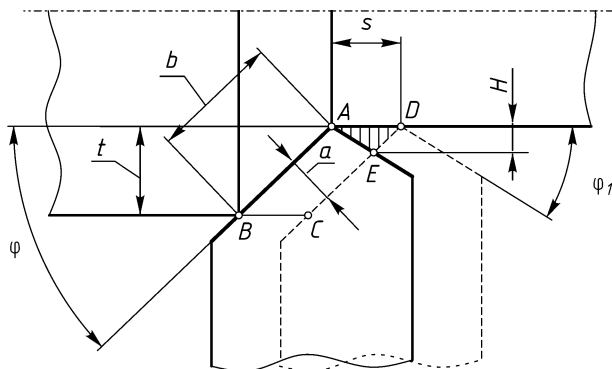


Рис. 6.14. Елементи різання

6.5.1 Глибина різання

Глибина різання t

Глибина різання це відстань між оброблюваною й обробленою поверхнями в напрямі перпендикулярному до останньої (до обробленої). Глибину різання вимірюють у міліметрах.

При точінні глибину різання t можливо визначити як (рис.6.14)

$$t = \frac{d_{\text{заг}} - d_{\text{обр}}}{2}$$

де $d_{\text{заг}}$ – зовнішній діаметр заготовки;

$d_{\text{обр}}$ – діаметр обробленої поверхні деталі.

Глибина різання визначається величиною припуску на оброблення. Конкретну глибину різання встановлюють із практичних міркувань.

При чорновому різанні головним чинником є допустима потужність верстата або міцність різального інструмента.

При чистовому точінні останній прохід виконують із глибиною різання t у межах 0,1 ... 0,3 мм.

6.5.2 Подача

Подача s

Відношення відстані, пройденої заданою точкою різальної кромки або заготовки уздовж траєкторії цієї точки у русі подачі, до відповідної кількості циклів чи визначених часток циклі іншого руху під час різання або до кількості визначених часток циклу цього іншого руху.

Простіше кажучи – подача s (рис. 6.14) це величина переміщення інструмента за один оберт виробу або інструмента, за один робочий хід інструмента або на один зуб інструмента. Подачу позначають літерою s і вимірюють:

- у міліметрах на один оберт виробу ($s = 0,2$ мм/об);
- у міліметрах за одну хвилину ($s_{\text{хв}} = 25$ мм/хв);
- у міліметрах на один зуб інструмента ($s_z = 0,1$ мм/зуб).

У випадку, коли потрібно отримати поверхню заданої шорсткості (при точінні) величину подачі s визначають за формулою⁵

$$s = \frac{C_H R z^a r^b}{t^c \varphi^d \varphi_1^d}$$

де Rz – максимальна висота нерівностей обробленої поверхні деталі;

r – радіус округлення вершини різального леза;

φ – головний кут у плані;

φ_1 – допоміжний кут у плані.

Коефіцієнти C_H , a , b , c , d приймають такими:

Матеріал	s , мм	C_H	c	a	d	b
сталь	<1,75	0,008	0,30	1,40	0,35	0,70
сталь	>1,75	0,170	0,12	0,60	0,15	0,30
чавун	<1,6	0,045	0,23	1,25	0,50	0,75
чавун	>1,6	0,290	0,12	0,60	0,25	0,35

⁵Машиностроение. Энциклопедический справочник. Том 7. Москва, “Машиностроение”. 708 - с.

Приклад 6.1 (Подача)

Визначити доцільну величину подачі для чистового точіння сталі. Глибина різання 0,5 мм. Шорсткість обробленої поверхні не більше $Rz = 40$ мкм.

Вихідні дані:

$Rz = 40$ мкм	максимальна висота нерівностей обробленої поверхні;
$r = 1,2$ мм	радіус округлення вершини різця;
$t = 0,5$ мм	глибина різання;
$\varphi = 45^\circ$	головний кут у плані;
$\varphi_1 = 15^\circ$	допоміжний кут у плані.
$C_H = 0,008$	За умовами прикладу маємо чистове оброблення. Отже, подача не повинна бути більшою за 1,75 мм/об. Тому приймаємо значення коефіцієнтів з першого рядка таблиці коефіцієнтів.
$c = 0,3$	
$a = 1,4$	
$d = 0,35$	
$b = 0,7$	

Рішення:

1. Відповідно до завдання маємо

$$s = \frac{C_H Rz^a r^b}{t^c \varphi^d \varphi_1^d} = \frac{0,008 \cdot 40^{1,4} 1,2^{0,7}}{0,5^{0,3} 45^{0,35} 15^{0,35}} = 0,2062 \text{ мм/об.}$$

2. Остаточню приймаємо $s = 0,2$ мм/об.

6.5.3 Швидкість різання

Швидкість різання v

Швидкість заданої точки різальної кромки в русі різання.

Швидкість різання v це відношення шляху переміщення різальної кромки (відносно оброблюваної поверхні) за одиницю часу.

При різанні лезовими інструментами швидкість різання v вимірюють у метрах за хвилину

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \text{ м/хв}$$

де D – при точінні це зовнішній (або внутрішній) діаметр деталі, міліметри;
 n – частота обертання деталі, об/хв.

При обробленні шліфуванням швидкість різання v вимірюють у метрах у секунду

$$v = \frac{\pi D n}{1000 \cdot 60} \text{ м/сек}$$

де D – діаметр абразивного шліфувального круга, міліметри;
 n – частота обертання деталі, об/хв.

Швидкість різання обчислюється по найбільшому діаметру оброблюваного виробу або інструмента, або приймається рівною найбільшому значенню швидкості у разі нерівномірного руху.

6.5.4 Зрізуваний шар

Глибина різання t і подача s є похідними параметрами поперечного перерізу зрізуваного шару. Фізичними ж параметрами цього перерізу є товщина стружки a і ширина стружки b (рис. 6.14 на с. 83). Зрізуваний шар припуску характеризується двома параметрами:

- товщиною зрізуваного шару a ;
- шириною зрізуваного шару b .

Товщина зрізуваного шару [товщина зрізу] a

Довжина нормалі до поверхні різання, проведена через задану точку різальної кромки, обмежена перерізом зрізуваного шару.

Іншими словами, товщиною зрізу a називають відстань, виміряну у напрямі перпендикулярному ширині стружки, між двома послідовними положеннями поверхні різання.

Ширина зрізуваного шару [ширина зрізу] b

Довжина сторони перерізу зрізуваного шару, утвореної поверхні різання.

Іншими словами, шириною стружка b називається відстань між оброблюваною і обробленою поверхнями, виміряну по поверхні різання.

Залежність між шириною стружки b і глибиною різання t , товщиною стружки a і подачею s виражається формулами:

$$b = \frac{t}{\sin \varphi} \quad \text{та} \quad a = s \sin \varphi$$

де φ – кут у плані.

Приклад 6.2 (Параметри зрізу #1)

Визначити ширину та товщину зрізаного шару при точінні.

Вихідний дані:

$t = 3,3$ мм глибина різання;

$s = 0,25$ мм/об подача;

$\varphi = 45^\circ$ головний кут у плані.

Рішення:

1. Товщина зрізуваного шару стружки

$$a = s \sin \varphi = 0,25 \sin 45^\circ = 0,177 \text{ мм.}$$

2. Ширина зрізуваного шару

$$b = \frac{t}{\sin \varphi} = b = \frac{3,3}{\sin 45^\circ} = 4,667 \text{ мм.}$$

3. Висновок. Товщина a зрізуваного шару припуску менша за величину подачі s , а ширина b навпаки більша.

Приклад 6.3 (Параметри зрізу #2)

Визначити товщину та ширину зрізаного шару при точінні.

Вихідний дані:

$t = 3,3$ мм глибина різання;

$s = 0,25$ мм/об подача;

$\varphi = 30^\circ$ головний кут у плані.

Рішення:

1. Товщина зрізуваного шару стружки

$$a = s \sin \varphi = 0,25 \sin 30^\circ = 0,125 \text{ мм.}$$

2. Ширина зрізуваного шару

$$b = \frac{t}{\sin \varphi} = b = \frac{3,3}{\sin 30^\circ} = 6,6 \text{ мм.}$$

3. Висновок. Товщина a та ширина b зрізуваного шару припуску залежать від головного кута у плані φ .

Результати аналізу прикладів 6.2 та 6.3 можливо представити графічно на рис. 6.15

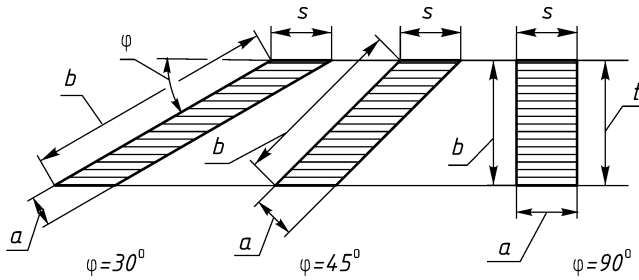


Рис. 6.15. Зміна ширини та товщини стружки

Переріз зрізаного шару.

Номінальний переріз зрізаного шару припуску вимірюють основній площині, яка була проведена через досліджувану точку різальної кромки.

Переріз зрізуваного шару [переріз зрізу]

Фігура, утворена перетинанням шару матеріалу заготовки, відділеного лезом за один цикл головного руху різання, основною площиною.

Площа f номінального перерізу зрізуваного шару обмежена контуром $ABCD$ і рівна (рис. 6.14)

$$f = s \cdot t = a \cdot b.$$

Дійсний переріз зрізуваного шару менше номінального. Площа f_d дійсного перерізу зрізуваного шару обмежена контуром $ABCE$ і рівна

$$f_d = f - \Delta f.$$

Залишковий переріз зрізаємого шару Δf залишається на обробленій поверхні у вигляді нерівностей, що періодично повторюються. Площа залишкового перерізу Δf обмежена контуром AED і зазвичай складає менше 2% від площі номінального перерізу зрізуваного шару.

Зауваження. Насправді вершина різця ніколи не має форму кута між двома прямими кромками. На практиці вершина різця завжди має фаску або радіусне округлення (рис. 6.8 на с. 76), тому площа залишкового шару Δf значно менша за площу стружки і не відіграє ніякого впливу на процеси різання.

Приклад 6.4 (Параметри стружки)

Визначити параметри стружки – товщину, ширину та площу.

Вихідні дані:

$t = 2,5$ мм товщина зрізуваного шару;

$s = 0,3$ мм подача;

$\varphi = 45^\circ$ головний кут у плані.

Рішення:

1. Ширина b стружки

$$b = \frac{t}{\sin \varphi} = \frac{2,5}{\sin 45^\circ} = 3,536 \text{ мм.}$$

2. Товщина a стружки

$$a = s \sin \varphi = 0,3 \sin 45^\circ = 0,212 \text{ мм.}$$

3. Номінальна площа f зрізуваного шару

$$f = t s = 2,5 \cdot 0,3 = 0,75 \text{ мм}^2.$$

6.5.5 Напрямок сходу стружки

Прийнято вважати, що стружка збігає по передній поверхні інструмента в напрямі, перпендикулярному до різальної кромки в досліджуваній точці M (рис. 6.16). Це справедливо лише для випадків, коли різальна кромка розташовується перпендикулярно до вектора відносної швидкості різання.

У загальному випадку перпендикулярність порушується, і стружка, збігаючи по передній грані інструмента, прагне відклонитися від перпендикуляру в ту, або іншу сторону під кутом λ_c , рівним куту між різальною кромкою (або дотичною до неї) і точці M і площиною, перпендикулярною до вектору відносній швидкості різання \vec{v} у тій же точці M (рис. 6.16).

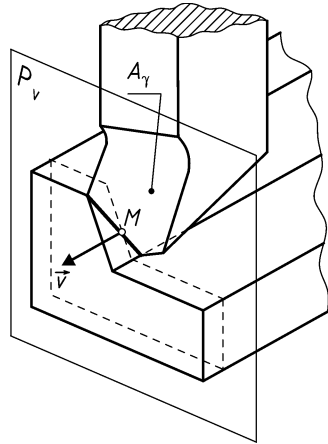


Рис. 6.16. Нахил різальної кромки

Від кута λ залежать форма стружки і напрям її відхилення управо (від деталі) або вліво (на деталь) (рис. 6.17).

Як не дивно, але напрям сходу стружки має значний вплив на якість обробленої поверхні.

У тому випадку, коли стружка відхиляється вліво вона іде перед різцем, не торкаючись обробленої поверхні (рис. 6.17,а).

У випадку, коли стружка відхиляється вправо (рис. 6.17,б на наступній сторінці), вона може торкатись вже обробленої поверхні. Результатом такого "торкання" будуть сліди (подряпини) на обробленій поверхні, що не завжди припустимо.

Орієнтовно можливо прийняти, що відхилення напрямку сходу зрізаної стружки від нормалі до різальної кромки, дорівнює куту λ нахилу різальної кромки.

Зауваження. Існує теорія, за якою утворення стружки це гідродинамічний процес дуже густої рідини. Тобто метал розглядають як дуже густу рідину (на кшталт густої пасти). За такою теорією стружка, це струмінь густої рідини, що відбивається від твердої поверхні (поверхні леза). Тоді кут відбивання дорівнює куту падіння.

На практиці напрям сходу стружки маж важливе значення. Під час фасонного точіння утворена стружка може попадати між допоміжною різальною кромкою і обробленою поверхнею деталі. Це призведе до значних ушкоджень деталі, що неприпустимо.

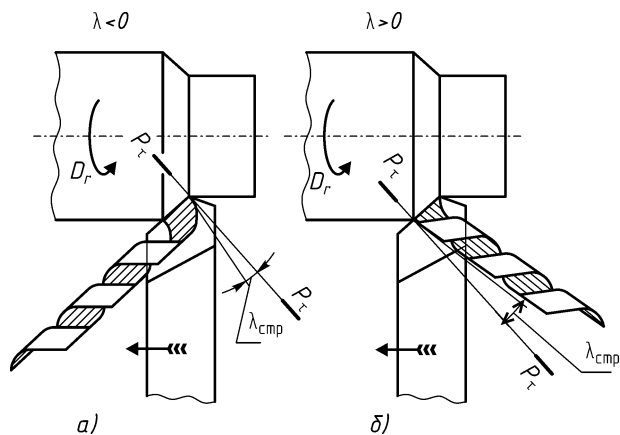


Рис. 6.17. Напрямок сходу стружки

Зауваження. Сучасний різальний інструмент має достатньо складну форму передньої поверхні (особливо оснащений змінними різальними пластинками), що суттєво впливає на напрям сходу стружки.

6.6 Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення терміну “оброблення різанням”.
2. Дайте визначення терміну “оброблювана поверхня”.
3. Дайте визначення терміну “оброблена поверхня”.
4. Що таке “зрізуваний шар”?
5. Назвіть особливості процесу різання.
6. Що таке “геометричні параметри різального інструмента”?
7. Що таке безперервне, дискретне та стохастичне різання?
8. У чому полягає вільна прямокутна схема різання?
9. У чому полягає вільна косокутна схема різання?
10. У чому полягає невільне різання?
11. Дайте визначення терміну “різальне лезо”.
12. Дайте визначення терміну “передня поверхня леза”.
13. Дайте визначення терміну “задні поверхня леза”.
14. Дайте визначення терміну “різальна кромка”.
15. Дайте визначення терміну “основна площина”.
16. Дайте визначення терміну “головна січна площина”.
17. Дайте визначення терміну “площина різання”.
18. Дайте визначення терміну “задній кут”.
19. Дайте визначення терміну “передній кут”.
20. У чому полягає різниця між поверхнею різання та обробленою поверхнею?
21. Дайте визначення терміну “глибина різання”.
22. Дайте визначення терміну “подача”.
23. Як розрахувати площу зрізаного шару?
24. Яким чином кут нахилу різальної кромки впливає на напрям сходу стружки?
25. Яким чином головний кут у плані впливає на форму зрізаного шару?

7 СТРУЖКА

7.1 Основи різання

Під час різання різальне лезо інструмента зрізує із заготовки шар припуску у вигляді стружки. Це відділення стружки супроводжується деформаціями як приповерхневих шарів заготовки, так і безпосередньо відділеної стружки.

Можливо стверджувати, що процес різання це комбінація деформацій та подальшої руйнації матеріалу заготовки. Логічно припустити, що ці процеси (деформація та руйнація) тісно пов'язані між собою, а характер їх протікання залежить від:

- фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу;
- фізико-механічних властивостей різального леза;
- геометричних параметрів різального леза;
- параметрів різання (швидкість різання, температура середовища, шорсткість поверхонь інструмента, тощо.).

Отже, процес різання можливо розглядати, як послідовну зміну:

- пружної деформації (зворотні деформації);
- пластичної деформації (не зворотні деформації);
- і нарешті руйнації (відділення стружки).

У свою чергу руйнація може бути:

- руйнація відриву під дією розтягувальних напружень (що відривають);
- руйнація під дією тангенціальних напружень (що зрізують).

Дослідження процесу різання встановили, що як матеріал стружки, так і приповерхневий шар матеріалу обробленої заготовки, перебували під дією пластичних деформацій.

Пластичне деформування змінює властивості матеріалу, отже приповерхневі шари обробленої поверхні деталі мають дещо інші властивості, ніж матеріал заготовки.

Побічним ефектом пластичної деформації є виділення теплової енергії. Чим більша швидкість протіканні деформування, тим більше виділення (утворення) теплової енергії. Швидкість деформування, через вплив на теплову енергію, опосередковано впливає на процеси пластичної деформації. Адже з підвищенням температури – зростає пластичність металу⁶.

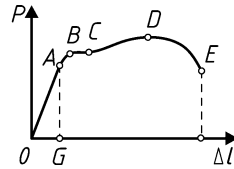


Рис. 7.1. Діаграма розтягування

На рис. 7.1 зображено класичну діаграму розтягування металу. На діаграмі:

- точка *A* відповідає границі пропорційності;
- точка *B* відповідає границі пружності;
- точка *C* відповідає границі текучості;
- точка *D* відповідає границі міцності;
- точка *E* відповідає зусиллю розриву.

Отже, можливо стверджувати, що процес зрізування стружки відбувається саме у такій послідовності – від пружної деформації, до відриву від основного матеріалу заготовки.

Площа під кривою відображає всю роботу затрачену на деформування зразка. Робота затрачена на пружне деформування, це лише невелика частка (окреслена точками *O-A-G*) загальної роботи.

Отже, основна кількість роботи (а відповідно і енергетичних затрат) припадає на пластичне деформування металу в зоні різання. Саме наявність процесів пластичного деформування обумовлює значне виділення теплової енергії у процесі різання.

Основна частина утвореної теплової енергії виділяється із зони різання разом із видаленою стружкою. Однак деяка частина тепла розігріває різальне лезо⁷ змінюючи його фізико-механічні властивості як різального інструмента.

Тип стружки

У той же час, ще проф. Кузнєцов В.Д. у 1937 році встановив, що співвідношення роботи пластичних і пружних деформацій різне для різних металів. Саме це пояснює утворення стружки різної форми та вигляду під час оброблення різних металів різанням.

⁶Розігріту заготовку легше кувати ніж холодну

⁷Адже розігріта стружка щільно контактує з поверхнями різального леза.

Напряг зсуву

Розглянемо, відомий з теорії міцності, рис.7.2 розтягування циліндричного зразка. Відомо, що коли добре відполірований зразок піддавати розтягуванню або стисканню, то після досягнення напружень більших за границю текучості (точка *З* на рис.7.1), на його поверхні утвориться сітка ліній, що розташовані під кутом приблизно 45° . Ці лінії є слідами переміщення кристалів металу відносно один до одного, а їх напрям співпадає з напрямом найбільших напружень, що виникають у зразку.

Отже, руйнація стружки відбувається по поверхням (напрямках) найбільших напружень.

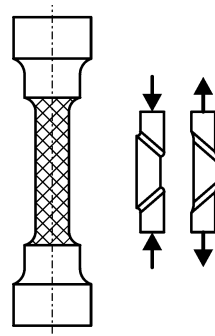


Рис. 7.2. Сітка зсуву

7.2 Типи стружки

У 80-х роках ІХХ століття російський вчений І. А. Тіме⁸ встановив таке ділення стружки залежно від її зовнішнього вигляду:

- стружка сколювання;
- стружка зливна;
- і стружка надлому.

У теперішній час за ДСТУ 2249-93 розрізняють чотири типи стружки, що утворюються під час оброблення різанням:

- стружка елементна (рис. 7.3,а);
- стружка східчаста (рис. 7.3,б);
- стружка зливна (рис. 7.3,в);
- стружка надлому (рис. 7.3,г).

⁸Іван Августович Тіме (* 23.7.1838 — † 5.11.1920, Петроград), вчений і гірничий інженер Російської імперії. У 1858 р. закінчив Петербурзький інститут корпусу гірничих інженерів. У 1859–1866 рр. працював на заводах Уралу, а у 1866–1870 рр. на заводах Донбасу. У 1870–1915 рр. професор Петербурзького інституту корпусу гірських інженерів. У 1873–1917 рр. член Гірського вченого комітету і консультант Петербурзького монетного двору. Тіме започаткував теорію різання як науку (праця “Сопротивление металлов и дерева резанью”, 1870).

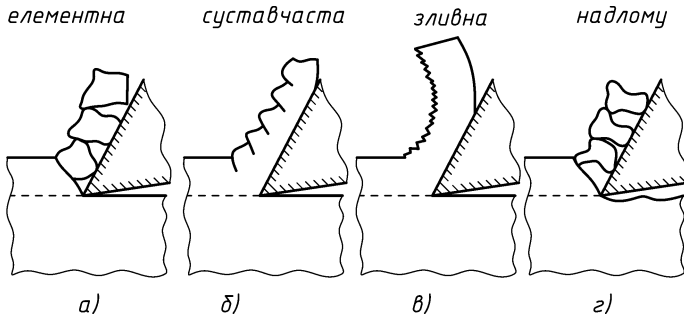


Рис. 7.3. Типи стружки за ДСТУ 2246-93

Стружка елементна

Стружка складається з окремих деформованих елементів, не зв'язаних між собою, отримана у процесі оброблення металів середньої твердості з дуже малою швидкістю (0,5–2 м/хв) лезом з малим переднім кутом (0–5°)

Стружка східчаста

Стружка складається з окремих елементів, слабо зв'язаних між собою, отримана у процесі оброблення металів середньої твердості, наприклад сталі 45 зі швидкістю 5–15 м/хв.

Стружка східчаста утворюється при обробленні в'язких металів (сталі) з малими швидкостями різання, при великій товщині стружок і при малих передніх кутах.

Збільшення в'язкості оброблюваного матеріалу, зменшення товщини різаного шару, збільшення переднього кута або швидкості різання, як і одночасна зміна усіх перерахованих чинників у вказаних напрямках, приводять до зменшення розмірів окремих елементів стружки і до поступового переходу стружки східчастої у зливну.

Стружка зливна

Стружка у вигляді стрічки, яка завивається у спіраль, отримана у процесі оброблення пластичних матеріалів (м'яка сталь, алюміній).

Утворення зливної стружки дозволяє обробляти метали з меншим і більш рівномірним зусиллям різання, отримати чистішу оброблену поверхню.

Стружка надлому

Стружка у вигляді окремих дрібних кусочків неправильної форми, отримана у процесі оброблення крихких матеріалів (чавуну, бронзи).

Стружка надлому утворюється при обробці крихких матеріалів (чавун, бронза). Крихкий матеріал не має пластичних властивостей, тому руйнування відбувається по різних напрямках і в різних частинах зрізаного шару крихкого матеріалу. Як результат – стружка має вигляд великої кількості відламаних часток металу, що легко розсипаються. Стружка надлому має вигляд купки окремих зерен (часточок) металу.

7.3 Утворення стружки

Площина сколювання

Межею поширення, зовні видимих деформацій, у зрізаному шарі в'язкого металу є напрям (площина) $\Pi_{ск}$ (рис. 7.4). У момент найбільшої деформації, можливої для оброблюваного металу, по напрямку $\Pi_{ск}$ виникає сколювання елемента стружки. І. А. Тіме назвав цей напрям площиною сколювання, а кут ψ , утворений цією площиною з дотичною до поверхні різання, – кутом сколювання. Величина кута сколювання для різних в'язких металів і умов їх обробки коливається в межах $\psi = 145 \dots 155^\circ$.

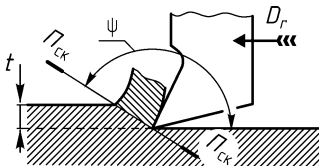


Рис. 7.4. Площина сколювання

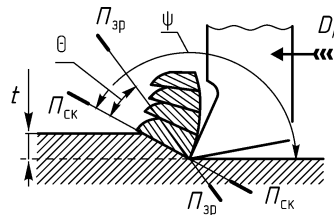


Рис. 7.5. Площина зрушення

Площина зрушення

Зовнішній вигляд стружки сколювання дає основу припустити, що найбільші руйнації в стружці відбуваються по площинам сколювання (рис. 7.5). Проте досліди російського вченого Усачова показали, що стружка сколювання ламається не по площині сколювання $\Pi_{ск}$, а по іншій площині $\Pi_{зр}$, яку він назвав площиною зрушення.

Залежно від властивостей оброблюваного металу і умов різання кут Θ , утворений площинами сколювання і зрушення, знаходиться у межах 30° . Виникнення площин зрушення пов'язане з розшаровуванням металу, що деформується під дією дотичних напружень викликаних зусиллям різального інструмента.

Випереджальна тріщина

Під час оброблювання сталі з великими подачами і малими швидкостями різання, у результаті подовжньої і поперечної усадок стружки, на зовнішній вільній стороні зрізаного шару, попереду різальної кромки різця, спостерігається поява випереджальної тріщини (BT) (рис. 7.6). Розміри випереджальної тріщини збільшуються зі збільшенням в'язкості оброблюваної сталі, товщини зрізаного шару і зменшенням величини переднього кута. При різанні тонких стружок завтовшки $a < 0,1$ мм із швидкістю різання більше 70–80 м/хв випереджальна тріщина не спостерігається. Останні дослідження показали, що випереджальна тріщина – явище поверхневе, яке не розповсюджується уздовж усієї головної різальної кромки.

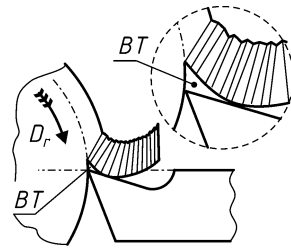


Рис. 7.6. Випереджальна тріщина

7.4 Деформація стружки

У зливній стружці увесь об'єм металу піддається більш-менш рівномірному розшаровуванню по площинах зрушення. У стружці сколювання, окрім розшарування по площинах зрушення, частина максимально деформованих шарів розриваються (розшаровуються), а частина менш деформованих – згинається, утворюючи в момент руйнування окремі елементи.

В обох видах стружки переміщення часток металу, прилеглих до передньої поверхні інструмента, відбувається повільніше, ніж в іншій частині стружки, і розшарований по площинам зрушення метал загинається в напрямі зворотному напрямку збігу стружки.

7.4.1 Графічне вивчення

Найбільш простим та поширеним методом вивчення величини деформування матеріалу стружки у різних точках шару – є метод нанесення координатної сітки.

На поліровану (або добре шліфовану) бічну сторону зразка наносять координатну сітку (дряпанням, типографським способом) та виконують різання (здебільшого вільне). Результатом є графічне деформування нанесеної сітки (рис. 7.7). Вивчення характеру деформування сітки дозволяє характеризувати процес деформації стружки та приповерхневих шарів заготовки.

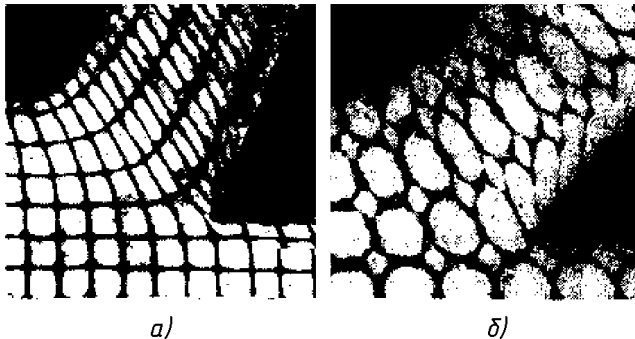


Рис. 7.7. Корені стружки з координатною сіткою [5]

- а* – сітка з прямокутними клітинами;
- б* – сітка з кільцевими клітинами.

За характером викривлення координатної сітки можливо визначити розміри зони в якій відбуваються пластині деформації. Необхідно відзначити, що даний метод не дозволяє визначити об'ємний характер процесів, що відбуваються у середині стружки. Усе що бачить дослідник, це двокоординатна поверхня, але і вона достатньо добре характеризує процеси, що відбуваються у зоні різання.

На жаль метод сітки можливо застосувати тільки у випадках утворення зливної та східчастої стружки.

У той же час, дослідження характеру зміни координатної сітки є одним з найперших методів вивчення процесу різання.

7.4.2 Фізичні явища різання

Під час проникнення в заготовку різального леза, на його поверхнях, виникають напруження викликані дією сил:

- нормальних до поверхонь леза;
- та викликаних процесами тертя стружки по лезу.

Якщо вважати різальне лезо абсолютно жорстким тілом, то склавши усі сили (нормальні та терті), що діють на лезо, можливо визначити сумарну силу. Ця сумарна сила буде силою опору різанню.

Деформації у зоні різання

Під час проникнення різального леза у матеріал заготовки виникає зона деформованого металу. Деформації розповсюджуються, як перед лезом, так і у деталь та стружку (рис. 7.8).

Під час обтікання різального леза деформованим матеріалом одна його частина переходить у стружку, а інша частина (нижче лінії різіу) вдавлюється в деталь утворюючи приповерхневий шар деталі.

У деформованому шарі можливо умовно виділити декілька зон, які мають різні характеристики стану матеріалу стружки та деталі.

Перша зона I

Найбільш віддалена від різальної частини інструмента. Це зона пружних та малих пластичних деформацій. У цій зоні зерна матеріалу дещо змінили свою форму (стали дещо довшими). Можна сказати, що в цій зоні процес різання тільки починається.

Друга зона II

Найбільш інтенсивно деформована. Окремі зерна металу дуже стиснені та максимально подовжені, одночасно повернуті та переміщені.

У контактних шарах (між стружкою та лезом) має місце виникнення значних деформацій. Зерна стружки немов-би розмазані по поверхні леза.

Матеріал розташований біля різального леза значно ущільнюється, як результат починається утворення мікротріщин, котрі швидко розповсюджуються по шару прилеглому до леза. Виникає розрив

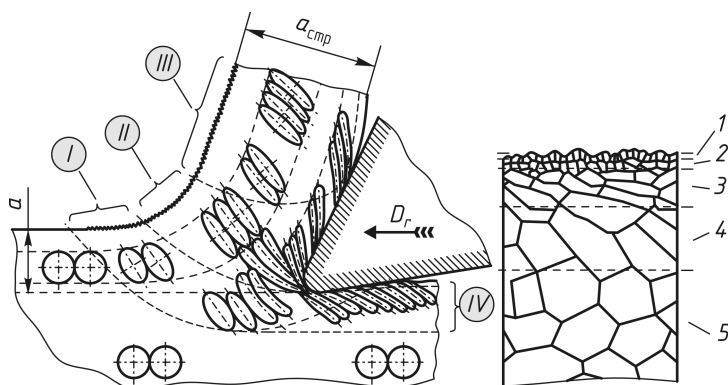
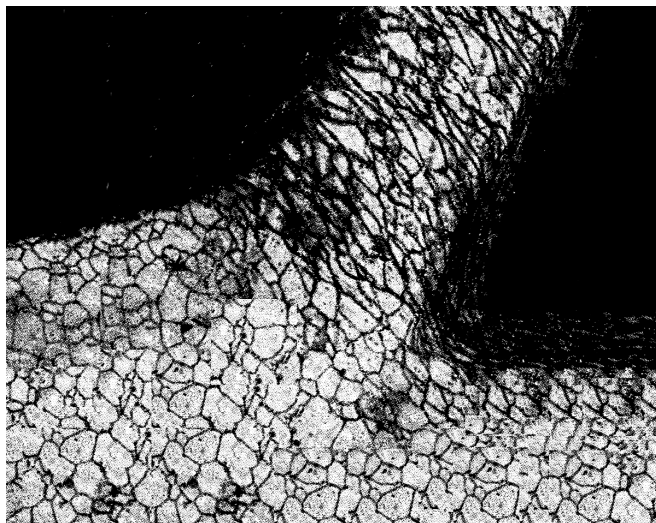


Рис. 7.8. Деформації [5]

зерен (утворюється волоконна структура) і матеріал оброблюваної деталі починає обтікати різальну кромку леза. Таким є механізм утворення стружки зливного типу.

У випадках, коли мікротріщини групуючись досягають поверхні стружки утворюється стружка східчастого типу.

На вершині леза зерна металу подрібнені. Частина їх відходить до стружки, а інша частина вдавлюється в поверхневий шар обробленої поверхні.

Третя зона III

Матеріал заготовки повністю перейшов (перетворився) у стружку. Ця частина стружки вже не торкається різального леза і відходить від інструмента.

Четверта зона IV

Приповерхневий шар обробленої поверхні заготовки, що складається з витягнутих та подовжених зерен.

Поперечний переріз зони різання

На поперечному шарі зони різання можливо виділити такі шари матеріалу (рис. 7.8):

- 1 – плівка окисів, що утворились у наслідок реакції поверхні металу з довкіллям в умовах підвищеної температури різання;
- 2 – шар диспергованого металу з подрібненими зернами;
- 3 – шар пластично деформованих зерен, але не подрібнених;
- 4 – шар дії пружних деформацій (зерна майже не деформовані);
- 5 – початкова структура металу заготовки.

Зауваження. Розміри та форма розглянутих зон залежать від геометричних параметрів інструмента (передні і задні кути) та від властивостей оброблюваного матеріалу заготовки. Але загальна картина є незмінною.

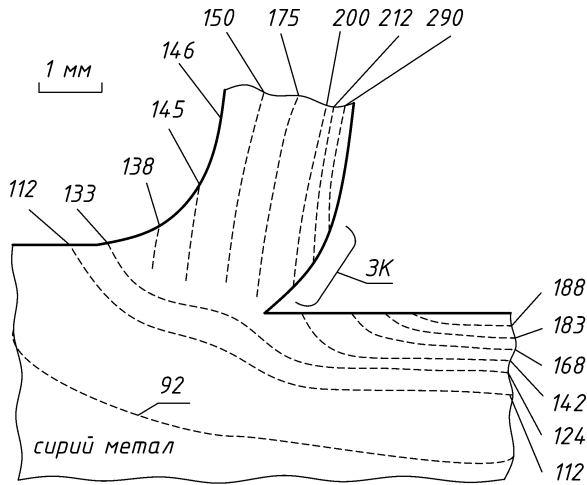


Рис. 7.9. Розподіл мікротвердості у зоні деформацій
[За Г.І. Грановським]

Зміцнення у зоні різання

Раніше було показано, що шари матеріалу в зоні різання піддаються значним деформаціям. Розмір зони матеріалу, що піддається деформаціям (пружним та пластичним) залежить від багатьох чинників, але в загальному випадку має приблизно однакову форму та структуру.

На рис. 7.9 наведено розподіл мікротвердості зони різання при тоцінні. Зверніть увагу на характер проходження ізоліній мікротвердості.

У зоні контакту (ЗК) передньої поверхні різального леза з стружкою відбувається значне підвищення твердості стружки. Ці ділянки стружки твердіші за приповерхневі шари обробленої поверхні. Це можливо пояснити значними деформаційними процесами та тертям о передню поверхню леза.

Приповерхневі шари обробленої поверхні також твердіші за основний матеріал заготовки.

Отже, процес різання супроводжується підвищуванням твердості шарів стружки та деталі, котрі контактують з інструментом. Чим далі від зони різання – тем меншим є твердість.

7.5 Утворення наросту

У процесі різання різальні елементи інструмента проникають у метал заготовки та безперервно утворюють нові поверхні на оброблюваному предметі і на зрізуваній стружці.

Контакт стружки з матеріалом інструмента відбувається в умовах досить великих тисків і температур. Метал заготовки, перш ніж зруйнуватися по під дією різального леза, впродовж короткого часу переміщається попереду різального леза, утворюючи із застійного металу наріст (рис. 7.10), як це показав Я.Г. Усачов⁹.

За цей час зерна металу, що утворюють наріст та значно деформовані, розташовуються у вигляді тонких витягнутих смуг 4, що облягають різальне лезо. Руйнування цих деформованих і витягнутих у зігнуті смуги 6 металу відбувається як з боку задньої поверхні різального леза, так і з боку передньої поверхні, утворюючи текстуру зігнуту у протилежному напрямку збігу стружки.

Процес наростоутворення пов'язаний із швидкістю різання. Найбільш інтенсивно (при обробленні сталі) наріст утворюється в діапазоні швидкостей від 15 до 20 м/хв. Зі збільшенням швидкості різання наростоутворення зменшується і зникає повністю при швидкостях понад 50...70 м/хв.

На рис. 7.11 зображено наріст утворений на різальній кромці різця, що має пластину твердого сплаву. На лівій половині рисунку подано два види наросту – збоку та зверху. На правій половині рисунку зафіксовано момент зриву наросту, добре видно слід 5, що залишився на передній поверхні 8 леза.

Неоднакові умови руйнування різальним лезом зерен металу із сторони задньої і передньої поверхні призводять до зриву наросту, що утворився. Частки зруйнованого наросту видаляються із зони різання разом із стружкою. Інша частина зруйнованого наросту частково проникає у оброблену поверхню і відходить разом з деталлю. Частота послідовного утворювання наростів може доходити до 200 разів в одну секунду.

⁹Яків Григорович Усачов (1873 – 1941) – російський і советський вчений. Народився 17 (29) жовтня 1873 року у селі Микільське Курського повіту Курської губернії (нині — Жовтневий район Курської області) у сім'ї бідного селянина. Закінчив три класи сільської школи, після чого працював учнем у ремісника, опанував спеціальності слюсаря, столяра і шорника. Самоука опанував вищу математику, фізику і низку інших технічних дисциплін. Усачов опублікував наукову працю "Явления, происходящие при резании металлов" – одне із перших у світі досліджень у цій науковій галузі.

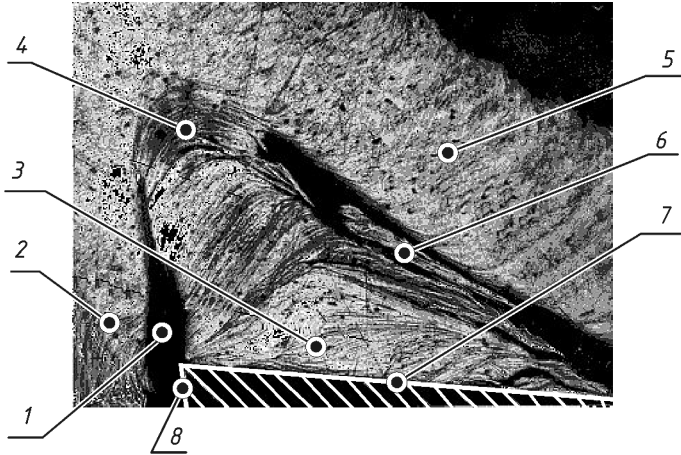


Рис. 7.10. Наріст
[inf.instrumentmr.ru (д/з 27.06.2018)]

- 1 – порожнеча між деталлю та задньою поверхнею різця;
- 2 – оброблена поверхня деталі;
- 3 – основа наросту, має ущільнену структуру утворену із матеріалу оброблюваної деталі;
- 4 – вершина наросту, має структуру послідовно накладених шарів, утворена із матеріалу оброблюваної деталі;
- 5 – стружка утворена у процесі різання;
- 6 – частка вершини наросту відірвана від основної маси наросту і видалена разом із стружкою;
- 7 – передня поверхня леза токарного різця;
- 8 – задня поверхня леза токарного різця.

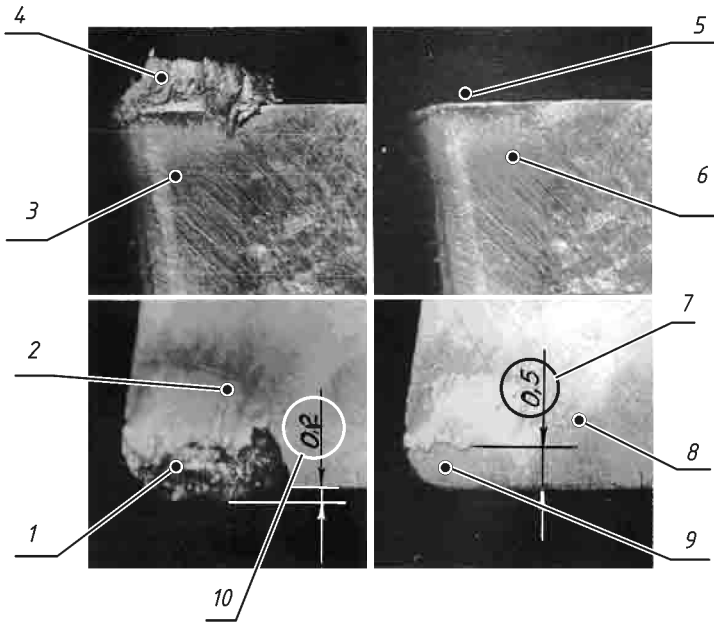


Рис. 7.11. Наріст на твердому сплаві
[inf.instrumentmr.ru (д/з 27.06.2018)]

- 1 – наріст на передній поверхні леза;
- 2 – сліди сходу стружки по передній поверхні;
- 3 – задня поверхня пластинки твердого сплаву;
- 4 – наріст на передній поверхні (вид зі сторони задньої поверхні леза);
- 5 – місце де був наріст;
- 6 – задня поверхня леза;
- 7 – ширина місця яке займав наріст на передній поверхні;
- 8 – передня поверхня леза;
- 9 – слід, на передній поверхні, що залишився від наросту після його зриву
- 10 – виліт наросту за межі різальної кромки (вид на передню поверхню).

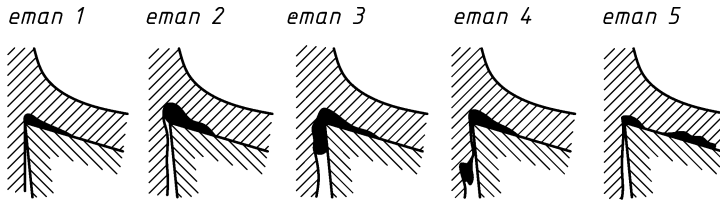


Рис. 7.12. Утворення та зрив наросту

Поетапний процес утворення та зриву наросту (наростоутворення) показано на рис. 7.12

- на основі початкового наросту малого розміру (етап 1) росте вершина наросту (етап 2);
- у певний момент часу вершина наросту зривається (етап 3), проникає у матеріал заготовки (етап 4) і уходить разом з нею;
- інша частина наросту теж обламується, але підхоплена стружкою видаляється разом з нею (етап 5).

7.6 Усадка стружки

Стружка деформується в процесі різання та має поздовжню усадку, що виражається в укороченні зрізаного шару по довжині, та поперечну усадку, що виражається в збільшенні розмірів її поперечного перерізу проти розмірів поперечного перерізу зрізаного шару.

7.6.1 Укорочення (усадка) стружки

Зміна довжини зрізаної стружки відносно її розрахункової довжини характеризується коефіцієнтом укорочення стружки.

Коефіцієнт укорочення стружки

Відношення довжини зрізаного шару до довжини стружки.

Іншими словами, коефіцієнт укорочення стружки це відношення теоретичної довжини l_t стружки, до фактичної довжини стружки l_ϕ (рис. 7.13). Отже, коефіцієнт K_l укорочення стружки дорівнює

$$K_l = \frac{l_t}{l_\phi}$$

де l_t – теоретична довжина стружки. Математично дорівнює довжині траєкторії різальної кромки інструмента в процесі оброблення заготовки;

l_ϕ – фактична довжина зрізаної стружки. Дорівнює довжині отриманої стружки, котру (довжину) виміряли після отримання стружки.

Зауваження. Термін “коефіцієнт укорочення стружки” не зовсім коректний¹⁰. На рис. 7.13 наведено два приклади, з яких видно, що є можливим, як укорочення, так і подовження стружки. Усе залежить від властивостей матеріалу, швидкості різання та геометричних параметрів інструмента.

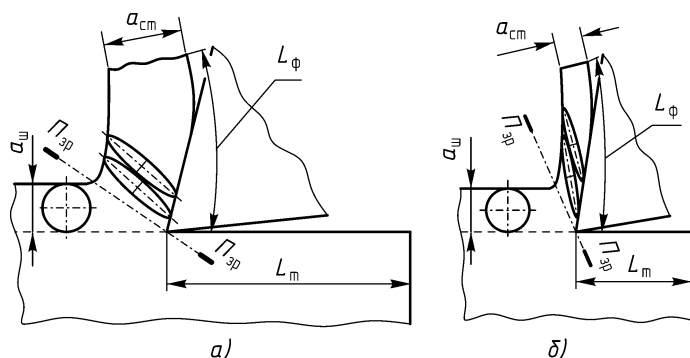


Рис. 7.13. Укорочення стружки

На рис. 7.13,а подано випадок утворення укорочення стружки, коли $l_\phi/l_t < 1$. У той же час на рис. 7.13,б отримана стружка довша за теоретичну $l_\phi/l_t > 1$.

Усе залежить від кута нахилу площини зрушення $\Pi_{зр}$. Якщо він більший за $40 \dots 50^\circ$ фактична довжина стружки може бути довшою за теоретичну.

На практиці коефіцієнт укорочення стружки можливо визначити різними способами серед яких є два основні – спосіб “нитки” та спосіб “ваговий”.

¹⁰Термін “коефіцієнт укорочення стружки” був сформульований І.А. Тіме в 1870 р. на підставі припущення, що деформування та руйнація стружки відбуваються тільки у площині сколювання. З огляду на сучасний стан досліджень це не так.

Спосіб нитки

Безпосередньо вимірюють довжину отриманої стружки. Але стружка не є прямою лінією, вона має закручену форму, тому роблять так. На стружку намотують звичайну нитку, а потім лінійкою вимірюють її довжину отримуючи параметр l_{ϕ} фактичної довжини стружки. Довжину зрізаного шару l_{τ} розраховують математично, як довжину траєкторії різальної кромки відносно оброблюваної заготовки.

Приклад 7.1 (Укорочення стружки [нитка])

Визначити способом нитки коефіцієнт укорочення стружки при зовнішньому точінні сталюї заготовки.

Вихідний дані:

$l_{\phi} = 12,13$ мм довжина стружки виміряна за допомогою нитки;

$l_{\tau} = 12,75$ мм теоретична довжина стружки;

Рішення:

1. Коефіцієнт укорочення стружки

$$K_l = \frac{l_{\tau}}{l_{\phi}} = \frac{12,75}{12,13} = 1,051.$$

2. Отже, за результатами розрахунків коефіцієнт укорочення стружки становить 1,051.

Спосіб “нитки” дає достатньо точні результати, але обмотування нитками стружки – процес досить складний.

Ваговий метод

Цей метод передбачає визначення ваги зрізаної стружки та базується на таких теоретичних положеннях.

Об'єм V зрізаної стружки можливо визначити, як добуток її розмірів, а саме:

$$V = l_{\phi} t s = l_{\phi} F$$

де V – об'єм стружки;

l_{ϕ} – фактична довжина стружки;

- t – глибина різання (ширина стружки);
 s – подача (товщина стружки);
 F – площа поперечного перерізу стружки.

Отже, об'єм стружки залежить від двох параметрів – довжини стружки l та площі її перерізу F . При незмінній величині об'єму стружки V зміна одного з параметрів (l або F) у певну кількість разів, потребує таку ж зміну іншого параметру. Тобто, якщо параметр F збільшиться у k разів, то параметр l потребує зменшення теж у k разів (за умови незмінності об'єму V).

Отже, для визначенні коефіцієнта укорочення стружки замість відношення

$$K_l = \frac{l_{\tau}}{l_{\phi}}$$

можливо використати відношення¹¹

$$K_l = \frac{F_{\phi}}{F_{\tau}}.$$

Таким чином, коефіцієнт укорочення стружки можливо розрахувати за формулою

$$K_l = \frac{F_{\phi}}{F_{\tau}} = \frac{F_{\phi}}{t s}$$

- де F_{ϕ} – фактична площа перерізу зрізаної стружки.
 F_{τ} – теоретична площа перерізу зрізуваної стружки, визначається рохрахунками.
 t – глибина різання;
 s – подача.

Послідовність дій при застосуванні вагового методу наступна.

1. Від стружки, що підлягає дослідженню, відламують шматок довільної довжини l_{ϕ} .
2. Відламаний шматок стружки зважують на вагах (чим точніше, тим краще). Нехай вага шматка стружки буде g .
3. Далі міркуємо таким чином. Вага g шматка стружки та її довжина l_{ϕ} пов'язані між собою математичною залежністю

¹¹Зверніть увагу на розміщення індексів “фактично” та “теоретично” у формулах.

$$g = F_{\Phi} l_{\Phi} \rho$$

де F_{Φ} – фактична площа перерізу стружки;
 l_{Φ} – фактична довжина відламаного шматка стружки;
 ρ – питома вага матеріалу заготовки (для заліза
 $\rho = 7,8 \text{ г/см}^3$).

4. Звідки можна отримати

$$F_{\Phi} = \frac{g}{l_{\Phi} \rho}.$$

5. Отже, коефіцієнт укорочення стружки може бути визначений за формулою

$$K_l = \frac{F_{\Phi}}{F_{\tau}} = \frac{\frac{g}{l_{\Phi} \rho}}{t s} = \frac{g}{l_{\Phi} \rho t s}.$$

Приклад 7.2 (Укорочення стружки [ваговий])

Визначити ваговим методом коефіцієнт укорочення стружки при зовнішньому точінні сталюї заготовки.

Вихідний дані:

$t = 2,5 \text{ мм}$ глибина різання;

$s = 0,2 \text{ мм}$ подача;

$l_{\Phi} = 11 \text{ мм}$ довжина відламаного шматка стружки;

$g = 0,044 \text{ гр}$ вага відламаного шматка стружки.

Рішення:

1. Коефіцієнт укорочення стружки

$$K_l = \frac{F_{\Phi}}{F_{\tau}} = \frac{\frac{g}{l_{\Phi} \rho}}{t s} = \frac{g}{l_{\Phi} \rho t s} = \frac{0,044}{11 \cdot 7,8 \cdot 10^{-3} \cdot 2,5 \cdot 0,2} = 1,0264.$$

2. Отже, за результатами розрахунків коефіцієнт укорочення стружки становить 1,026.

7.6.2 Потовщення стружки

Величину поперечної зміни розмірів стружки характеризують коефіцієнтом K_a потовщення стружки

Коефіцієнт потовщення стружки

Відношення товщини стружки до товщини зрізаного шару.

Отже, коефіцієнт K_a потовщення стружки дорівнює

$$K_a = \frac{a_{\text{ст}}}{a_{\text{ш}}}$$

де $a_{\text{ст}}$ – товщина зрізаної стружки. Дорівнює товщині отриманої стружки, котру (товщину) виміряли після отримання стружки.

$a_{\text{ш}}$ – товщина зрізаного шару.

Значного практичного значення коефіцієнти укорочення та потовщення стружки не мають, але з наукової точки зору вони достатньо добре характеризують процеси, що відбуваються під час різання.

7.7 Питання для самоконтролю

1. Назвіть типи стружки.
2. Коли утворюється стружка елементного типу?
3. Коли утворюється стружка суставчатого типу?
4. Коли утворюється стружка зливного типу?
5. Коли утворюється стружка надлому?
6. Що таке площина сколювання?
7. Що таке площина зрушення?
8. Що таке випереджальна тріщина?
9. Як графічно можливо дослідити деформації в зоні різання?
10. Які деформаційні процеси відбуваються в зоні різання?
11. Чи відбуваються зміни твердості оброблюваного матеріалу в зоні різання?
12. У чому полягає причина утворення наросту?
13. В якому діапазоні швидкості різання відбувається інтенсивне утворення наросту?
14. Опишіть послідовність етапів утворення та зникнення наросту.
15. Що таке усадка стружки?
16. Як визначити коефіцієнт усадки стружки?
17. Опишіть метод визначення коефіцієнта усадки стружки за допомогою нитки.
18. У чому полягає ваговий метод визначення коефіцієнта усадки?

8 СИЛИ РІЗАННЯ

8.1 Теоретичні положення

У 1893 р. проф. К. А. Зворикін¹² встановив, що на інструмент діють: сила P (рис. 8.1), що передається механізмом верстата, та реакції R стружки і поверхні різання.

Запропонована Зворикіним схема сил різання розглядає процес вільного різання, як найбільш простий. Пізніше, проф. С.С. Руднік¹³ вдосконалив схему запропоновану Зворикіним перетворивши її на просторову тривимірну. У теперішній час існують більш досконалі схеми розподілу сил, але всі вони так чи інакше базуються на схемі запропонованій Зворикіним.

Отже, розглянемо схему сил за Зворикіним. Сила P це рушійна сила, яку верстат передає інструмента (у даному випадку різцю).

Реакція стружки складається з нормальної сили Q (діє по нормалі до передньої поверхні), та сили тертя $Q\mu_{\text{тер}}$ (де $\mu_{\text{тер}}$ коефіцієнт тертя стружки по передній поверхні леза).

Реакція поверхні різання представлена нормаллю R до поверхні різання та силою тертя $R\mu_{\text{зад}}$ між лезом та задньою поверхнею.

Отже, до дискретного елемента стружки одночасно прикладені:

- сила тиску різця Q ;
- та сила тертя стружки об передню поверхню $Q\mu_{\text{тер}}$.

У площині сколювання до елемента стружки прикладена нормальна сила N реакції на поверхню зрушення та сила ηN внутрішніх сил тертя, викликаних нормальною силою N .

Розглянута система сил знаходиться у рівновазі, Отже, записавши рівняння системи сил можливо визначити їх значення.

¹²Константін Олексійович Зворикін (6 квітня 1861, Муром, Володимирська губернія – 7 липня 1928, Київ). З 1898 р. працював професором і деканом механічного відділення Київського політехнічного інституту. У 1904 р. обійняв посаду директора Інституту, а у 1905 р. вийшов у відставку. У 1918 р. Зворикін повернувся в Київський політехнічний інститут і працював до 1926 року.

¹³Сергій Сергійович Руднік (1892 Рига – 1967, Київ) – професор, завідувач кафедри технології машинобудування Київського політехнічного інституту.

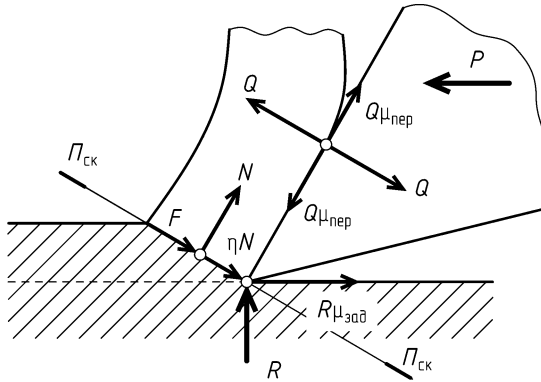


Рис. 8.1. Сили різання за Зворикіним

У теперішній час, відповідно до ДСТУ 2249-93, в інструментальному виробництві розглядають чотири основні сили різання, тобто сили, що супроводжують процес різання і впливають на працездатність різального інструмента (рис. 8.2):

- сила різання P ;
- головна складова сили різання P_z ;
- осьова складова сили різання P_x ;
- радіальна складова сили різання P_y .

Сила різання P

Рівнодійна сил, що діють на різальний інструмент у процесі різання.

Головна складова сили різання P_z

Складова сили різання, збіжна за напрямом зі швидкістю головного руху різання на вершині леза.

Осьова складова сили різання P_x

Складова сили різання паралельна до осі головного обертального руху різання.

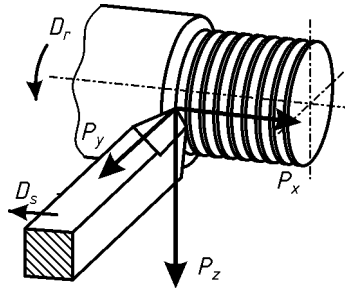


Рис. 8.2. Сили різання за ДСТУ 2249-93

Радіальна складова сили різання P_y

Складова сили різання направлена по радіусу головного обертального руху різання на вершині леза.

Зауваження. Різальна кромка інструмента може мати різну форму, а отже і різні складові сил різання, тому сили необхідно досліджувати в конкретній точці різальної кромки.

Загалом найбільш значущою за величиною є головна складова сила різання P_z . Здебільшого, саме вона найбільше впливає на силові характеристики процесу різання.

У той же час треба враховувати, що розподіл складових сил різання залежить від типу інструмента (різець, свердло, тощо.). Так при точінні найбільшою є головна складова сил різання P_z , а при свердлуванні найбільшою є складова P_x .

У теперішній час величину сили різання розраховують за математичними залежностями емпіричного характеру¹⁴.

Для точіння головну складову сил різання P_z можливо розрахувати за наближеною формулою (орієнтовно)

$$P_z = C_p t^{x_p} s^{y_p} \text{ кг(Н)}$$

де t – глибина різання, мм;

s – подача, мм.

¹⁴Емпіричні формули не виводять з теоретичних положень. Формулу підбирає дослідник. Характерною особливістю таких формул є наявність коефіцієнтів, чисельні значення яких підбирає (інколи навмання) дослідник.

Коефіцієнти C_p , x_p та y_p можливо вибрати такими¹⁵

Матеріал	Матеріал інструмента	C_p	x_p	y_p
Сталь конструкційна	- твердий сплав	300	1,0	0,75
	- сталь інструментальна	200	0,72	0,75
Чавун сірий	- твердий сплав	92	1,0	0,75
	- сталь інструментальна	158	1,0	1,0
Чавун м'який	- твердий сплав	81	1,0	0,75
	- сталь інструментальна	139	1,0	1,0

Приклад 8.1 (Сила різання P_z)

Розрахувати головну складову зусилля різання P_z при точінні ста-
левої деталі інструментом із швидкорізальної сталі.

Вихідний дані:

$t = 2,5$ мм – глибина (товщина) різання;

$s = 0,25$ – подача.

Рішення:

1. Визначаємо коефіцієнти та маємо

$$P_z = C_p t^{x_p} s^{y_p} = 200 \cdot 2,5^{1,0} 0,25^{0,75} = 176,78 \text{ кг.}$$

2. Отже, приймаємо величину головної складової зусилля різання
при точінні $P_z = 177$ кг (1738 Н).

Зауваження. Існує достатньо багато різних формул для визначення
сил різання. Інколи досить суперечливих. Але треба враху-
вати, що всі вони дають приблизне значення сил.

Зауваження. Достатньо точний розрахунок сил різання для біль-
шості видів оброблення можливо виконати в режимі on-line на
сайті walter-tools.com.

8.2 Вплив типу оброблення на сили

Розглянемо приклади отримані для різних видів оброблення за
результатами on-line розрахунків¹⁶ сил різання.

¹⁵При розрахунках у Ньютона коефіцієнт C_p необхідно помножити на 9,80665.

¹⁶www.walter-tools.com – розрахунок сил різання у режимі он-лайн.

Приклад 8.2 (Сили, точіння #1)

Матеріал деталі нелегована сталь НВ 125 ($R_m 428 \text{ Н/мм}^2$)

Вихідний дані:

- $d = 50 \text{ мм}$ – діаметр заготовки;
- $n = 600 \text{ об/хв}$ – частота обертання;
- $\varphi = 45^\circ$ – головний кут у плані;
- $\gamma = 12^\circ$ – передній кут;
- $t = 2,5 \text{ мм}$ – глибина (товщина) різання;
- $s = 0,25 \text{ мм/об}$ – подача.

Рішення:

1. Зусилля різання $P_z = 1318,95 \text{ Н}$ (134 кг).

Приклад 8.3 (Сили, точіння #2)

Матеріал деталі нелегована сталь НВ 125 ($R_m 428 \text{ Н/мм}^2$)

Вихідний дані:

- $d = 50 \text{ мм}$ – діаметр заготовки;
- $n = 600 \text{ об/хв}$ – частота обертання;
- $\varphi = 90^\circ$ – головний кут у плані;
- $\gamma = 12^\circ$ – передній кут;
- $t = 2,5 \text{ мм}$ – глибина (товщина) різання;
- $s = 0,25 \text{ мм/об}$ – подача.

Рішення:

1. Зусилля різання $P_z = 1226 \text{ Н}$ (125 кг).

Зауваження. Як бачимо з приведених прикладів величина сили різання P_z залежить від кута у плані.

Приклад 8.4 (Сили, свердлування)

Матеріал деталі нелегована сталь НВ 125 ($R_m 428 \text{ Н/мм}^2$)

Вихідний дані:

- $D = 20 \text{ мм}$ – діаметр отвору;
- $n = 600 \text{ об/хв}$ – частота обертання;
- $s = 0,2 \text{ мм/об}$ – подача.

Рішення:

- Осьове зусилля різання $P_x = 2944 \text{ Н}$ (299 кг).

Приклад 8.5 (Крутний момент, фрезерування)

Матеріал деталі нелегована сталь НВ 125 (Rm 428 Н/мм²). Тип оброблення – торцеве фрезерування площини.

Вихідний дані:

- | | |
|-------------------------|-----------------------------------|
| $D = 75 \text{ мм}$ | – діаметр фрези; |
| $n = 600 \text{ об/хв}$ | – частота обертання; |
| $Z = 8$ | – кількість зубців; |
| $B = 50 \text{ мм}$ | – ширина різання (ширина деталі); |
| $\varphi = 90^\circ$ | – головний кут у плані; |
| $\gamma = 12^\circ$ | – передній кут; |
| $t = 2,5 \text{ мм}$ | – глибина (товщина) різання; |
| $S_z = 0,25 \text{ мм}$ | – подача на зуб. |

Рішення:

- Крутний момент різання $M_{зкр} = 90,59 \text{ Н/м}$ (9200 кг/мм).
- Враховуючи, що діаметр фрези становить 75 мм отримаємо тангенціальне зусилля різання

$$\frac{M_{кр}}{\frac{1}{2}D} = \frac{9200 \cdot 2}{75} = 245 \text{ кг.}$$

- Отже, тангенціальна складова зусилля різання при фрезеруванні становить 245 кг (2403 Н).

8.3 Питання для самоконтролю

1. Хто із вітчизняних вчених першим дослідив сили різання?
2. Викреслить схему сил різання за Зворикінім.
3. Викреслить схему сил різання за ДСТУ 2249-93.
4. У чому різниця між силою різання та головною силою різання?
5. Чи залежать сили різання від типу оброблення?
6. Дайте визначення терміну “сила різання”.
7. Дайте визначення терміну “головна сила різання”.
8. За якою формулою можливо розрахувати сили різання?
9. Як впливає твердість оброблюваного матеріалу на сили різання?
10. Чи впливає глибина різання на сили різання?
11. Дайте визначення терміну “осьова складова сили різання”.

9 ТЕПЛОВІ ПРОЦЕСИ

9.1 Теплові потоки

Процес різання супроводжується виділенням теплової енергії. Це дуже складний і не зовсім вивчений процес. Загалом виділення та поглинання теплової енергії збалансовано – тобто скільки було виділено теплової енергії, стільки її і було поглинуто різними об'єктами, котрі приймали участь у процесі різання (верстат, інструмент, стружка, повітря, охолоджувальна рідина та інше.).

У загальному вигляді прибуткова частина теплового балансу¹⁷ враховує:

- теплота виділена в результаті пластичної деформації металу стружки в напрямі площин зрушення;
- теплота виділена в результаті руйнувань металу по площині сколювання;
- теплота, що виділяється на контактних поверхнях інструмента, стружки і поверхні різання, що труться;
- теплота, що виділяється в результаті зміцнення деякого об'єму металу оброблюваного предмета, безпосередньо прилеглого до площини сколювання і до різальної кромки.

Витратна частина теплового балансу¹⁸ враховує:

- теплоту відведену разом із стружкою;
- теплоту, що відводиться в довкілля;
- теплоту, що відводиться через тіло інструмента;
- теплоту, що відводиться через тіло оброблюваного предмета;
- теплоту, що акумулюється в тілі різальної частини інструмента та поступово підвищує його температуру.

Загальний розподіл теплових потоків представлено на рис. 9.1.

¹⁷Тобто виділення теплової енергії.

¹⁸Тобто поглинання теплової енергії

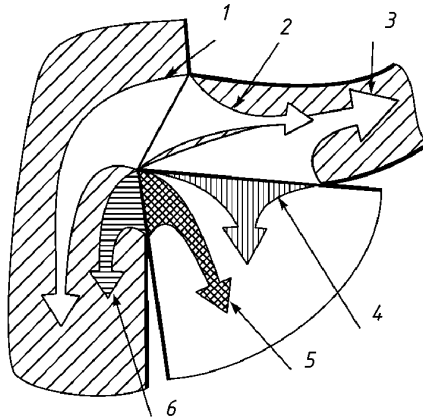


Рис. 9.1. Теплові потоки [4]

- 1 – частина теплової енергії, що переходить у заготовку;
- 2 – частина теплової енергії утвореної за рахунок деформації стружки (утворилась у стружці та вийшла разом з нею);
- 3 – тепла енергія, що виникла в результаті тертя між стружкою та передньою поверхнею леза;
- 4 – сумарний потік теплової енергії, що виник у результаті теплової взаємодії на ділянці контакту стружки та передньої поверхні інструмента;
- 5 – сумарний потік теплової енергії, що виник у результаті теплової взаємодії задньої поверхні леза та обробленої поверхнею заготовки;
- 6 – тепла енергія, що виникла в результаті теплового контакту деталі та задньої поверхні інструмента.

Відносне зменшення утворення теплової енергії можливо досягнути за рахунок застосування інструментів з оптимальними геометричними параметрами різальних елементів, або використання раціональних режимів різання.

Зменшення кількості теплоти, що акумулюється у тілі інструмента та підвищує його температуру, досягається застосуванням ефективних охолоджувальних рідин.

9.2 Градієнт температури

Схематичне зображення розподілу теплової енергії наведено на рис. 9.1 не зовсім об'єктивно характеризує розподіл теплових потоків. Більш об'єктивну інформацію про характер теплових потоків дає градієнтне представлення із застосуванням векторів (рис. 9.2).

Інтенсивність теплового потоку можливо виміряти кількістю тепла, котре проходить в одиницю часу через одиницю площі поверхні перпендикулярну до напрямку руху тепла. Вектор, що характеризує напрям та величину найбільшої зміни температури, називають градієнтом температури.

На рис. 9.2 зображено напрям та інтенсивність теплових потоків за допомогою векторів (векторного поля).

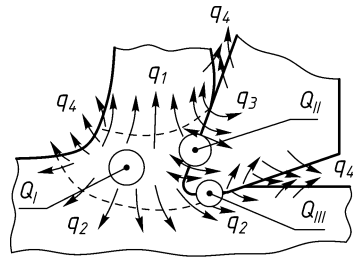


Рис. 9.2. Градієнт температури

Зони утворення тепла

Під час різання виникає три основних зони продукування тепла:

- зона Q_I – це зона в якій відбуваються процеси найбільшого деформування та руйнації матеріалу заготовки. Тут продукується найбільша кількість теплової енергії різання;
- зона Q_{II} – це зона в якій тепла енергія виникає за рахунок тертя стружки по поверхні леза інструмента¹⁹.
- зона Q_{III} – це зона тертя різального леза по обробленій поверхні деталі. У цій зоні поверхня деталі відновила за рахунок

¹⁹Окрім тертя, у цій зоні також наявні процеси приповерхневих перетворень стружки, але вони не є основними.

пружних деформацій, що призводить до виникнення зони контакту задньої поверхні інструмента та обробленої деталі²⁰.

Зони поглинання тепла

Утворене під час різання тепло (теплова енергія) розподіляється таким чином:

- q_1 – тепловий потік, що відходить разом із нагрітою стружкою. Цей потік тепла поглинає (виносить із стружкою) найбільшу кількість теплової енергії.
- q_2 – тепловий потік, що проникає в оброблювану деталь (нагріває деталь);
- q_3 – взаємний обмін тепловою енергією між приповерхневими шарами стружки та різального леза;
- q_4 – вихід теплової енергії в довкілля (гріє повітря та охолоджувальну рідину).

На кількісну характеристику всіх розглянутих потоків впливає багато чинників, насамперед наступні:

- фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу та різального леза;
- властивості охолоджувальної рідини;
- геометричні параметри леза (передні та задні кути);
- технологічні режимів оброблення.

9.3 Вимірювання температури

9.3.1 Калориметр

Самий простий²¹ спосіб виміряти температуру різання, це застосування калориметричного методу. Суть методу полягає у наступному:

- у калориметр (звичайний термос) заливають воду та вимірюють її температуру;
- зрізувану стружку збирають у калориметр;

²⁰ Насправді у цій зоні додатково продукується незначна кількість тепла, за рахунок відновлення приповерхневих шарів деталі.

²¹ І достатньо точний для практичного застосування.

– визначають температуру води та масу стружки у калориметрі;

Далі виконують обчислення за такою формулою²²

$$T_{\text{стр}} = T_{\text{к}} + \frac{22,25 \Delta T}{G_c}$$

де $T_{\text{стр}}$ – середня температура стружки;

$T_{\text{к}}$ – температура води із стружкою;

ΔT – різниця температур калориметру із стружкою та без неї (“гарячий – холодний”);

G_c – маса стружки.

Зауваження. Виміряна таким чином температура, не є температурою у зоні різання – це середня температура стружки.

Приклад 9.1 (Температура точіння)

Визначити середню температуру стружки при точінні конструкційної сталі.

Вихідний дані:

$T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ температура “холодного” калориметру;

$T_{\text{к}} = 21,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ температура “гарячого” калориметру;

$G_c = 0,1\text{ кг}$ маса стружки.

Рішення:

1. Різниця температур “гарячий – холодний” калориметр

$$\Delta T = T_{\text{к}} - T = 21,7 - 20 = 1,7\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

2. Середня температура стружки

$$T_{\text{стр}} = T_{\text{к}} + \frac{22,25 \Delta T}{G_c} = 21,7 + \frac{22,25 \cdot 1,7}{0,1} = 400\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

²²Оброблення сталі. Маса води у калориметрі 2,2 кг. Грановский Г.И. Резание металлов. / Москва “Машиностроение”. 1985 – 304 с.

9.3.2 Термопара

Досі не вдалося зробити точного вимірювання температури в зоні стружкоутворення. Наближене вимірювання температури здійснюють різними способами, але в основному за допомогою термопара.

Термопара

Датчик температури, що складається з двох сполучених між собою різнорідних електропровідних елементів. Дія термопари заснована на ефекті Зеебека.

Зеебека ефект

Полягає в тому, що в замкнутому ланцюзі, який складається з різнорідних провідників, виникає ЕРС (електрична рушійна сила, термо-ЕРС), якщо місця контактів підтримують при різних температурах.

При з'єднанні двох кінців провідників, що виготовлені з різних металів, з подальшим нагрівом точки з'єднання (рис. 9.3) можна отримати термо-ЕРС, що виникає на вільних кінцях термопари. Величина термо-ЕРС не залежить ні від форми провідників, ні від площ дотичних поверхонь. Для величини термо-ЕРС важливі тільки дві речі – тип провідників, що утворюють термопару, та її температура.

У термопар є дві зони провідників, що утворюються із з'єднання, – це так звані "гарячий" і "холодний" спай. З'єднання, що знаходиться в зоні нагріву називають "гарячий" спай, а те, що знаходиться поза цією зоною – "холодний" спай.

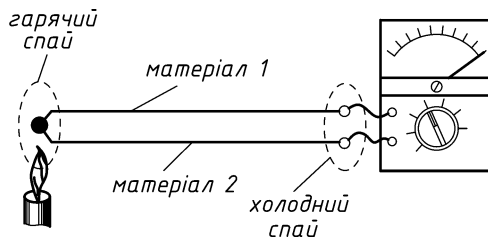


Рис. 9.3. Термопара

9.3.3 Точіння

Штучна термопара

Штучна термопара (рис. 9.4), як засіб вимірювання температури в тілі токарного різця, вперше була запропонована Усачовим²³.

Конструкція термопари Усачова така. В інструменті утворюють отвір малого діаметру (приблизно 1 мм), який не є наскрізним. Залишають невелику перемичку до передньої поверхні, чим меншу – тим точніше буде виміряна температура (приблизно 0,2 мм).

В утворений отвір вставляють термопару T (з відомими параметрами) та підключають її до гальванометру G . Пристрій, для вимірювання температури біля зони різання, готовий.

Усачов використовував термопару виготовлену з молібдену M та константанову K . Термопара з цих матеріалів достатньо стабільна та добре вивчена.

Цим способом можна виміряти температуру лише в окремих точках тіла інструмента, віддалених на деяку відстані від поверхонь взаємодії стружки з інструментом, але в ті часи це було науковим проривом.

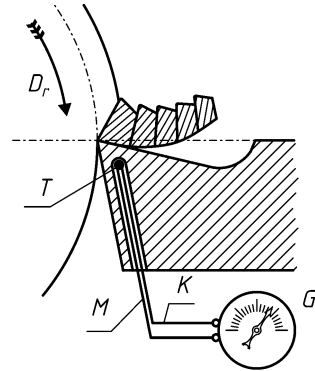


Рис. 9.4. Термопара Усачова

Штучна термопара

Переваги	Недоліки
Можливо виміряти температуру в околиці конкретної точки кромки	Температуру вимірюють на деякій відстані від різальної кромки
Нема потреби проводити додаткове тарування термопари	Важко утворити отвір малого діаметру в інструментальному матеріалі.

²³“Явления происходящие при резании металлов”. Известия Петербургского политехнического института. Том XXIII, 1915 г.

Природна термопара

Природна термопара (рис. 9.5) заснована на припущенні, що контакт різальних елементів інструмента з металом оброблюваного предмета можна розглядати як спай, у котрому збуджується термострум, який відповідає температурі на контактних поверхнях.

Деталь закріплюють у токарному патроні 1 через ізоляційні вставки 2. Щітка 3 та ізольований різець 4 утворюють термопару з гальванометром *G*.

Однак, природна термопара не має заздалегідь визначених параметрів, їх необхідно визначати окремо для кожної пари матеріалів – інструмент/деталь.

Для того, щоб перейти від показань у мілівольтах до показань у градусах, термопара має бути тарована – тобто знайдена відповідність значень температури показанням мілівольтметра.

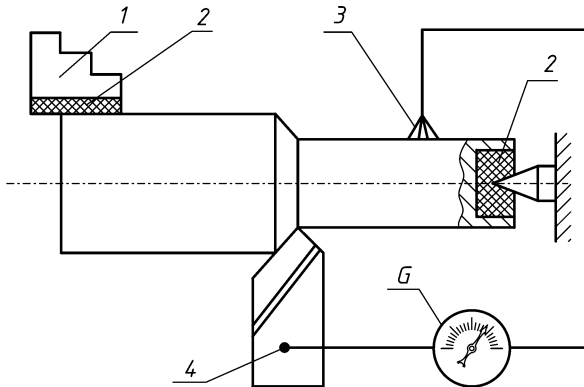


Рис. 9.5. Природна термопара

При таруванні природної термопари в металеву ванну (зі свинцю, олова, сурми), що підігрівається яким-небудь джерелом тепла, вставляють вживаний при досліді різець та стружку від оброблюваної заготовки. Вони не спаюються, але мають добрий контакт через розплавлений метал.

При підігріванні (або охолодженні) ванни, через певні проміжки часу, реєструються її температура та показання гальванометра тарованої термопари. За отриманими результатами будують графік, що показує значення температури, яка відповідає певним показанням гальванометра природної термопари.

У теперішній час природна термопара має поширення завдяки можливості використання в будь-якій комбінації інструмент/деталь.

Природна термопара

Переваги	Недоліки
Немає потреби свердлити отвір в інструменті	Виміряна температура є узагальненою по всій зоні різання.
Інструмент не руйнується (не свердлять ніяких отворів).	Тарування необхідне для кожної пари інструмент/деталь.

Не зважаючи на певні недоліки природна термопара забезпечує достатньо точні результати. Її основною перевагою є можливість використання для будь-яких типів різального інструмента.

9.3.4 Свердління

Вивчення температури в зоні різання при свердлінні вперше здійснили в 1951 році²⁴. Найбільш простим та надійним способом виміряти температуру при свердлінні є застосування методу штучної термопари за схемою поданою на рис. 9.6. У момент, коли свердло зріже дроти термопари T вимірювальний пристрій G зафіксує відповідну термо-ЕРС.

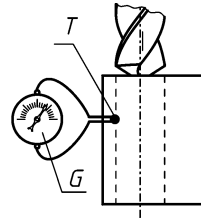


Рис. 9.6. Температура при свердлінні

Оброблення результатів досліджень дозволило встановити такі залежності.

При свердлінні сталі із ЗОР, коли термопара була розташована так, щоб виміряти температуру на периферії різальної кромки:

$$T = \frac{100 v^{0,5} s^{0,28} l^{0,16}}{d^{0,38}}.$$

При свердлінні сталі із ЗОР, коли термопара була встановлена так, щоб вимірювати температуру в зоні поперечної різальної кромки:

$$T = \frac{120 v^{0,65} s^{0,3} l^{0,3}}{d^{0,45}}.$$

²⁴В.А. Кривоухов, М.А. Мякишев. Физическое обоснование обрабатываемости высоколегированных сталей сверлением. 1951.

Приклад 9.2 (Температура свердління #1)

Визначити температуру різання на периферії різальної кромки свердла.

Вихідний дані:

$v = 30$ м/хв швидкість різання;

$s = 0,2$ мм/об подача;

$l = 22$ мм довжина оброблюваного отвору;

$d = 20$ мм діаметр свердла.

Рішення:

1. Розрахункова температура на периферії різальної кромки свердла становить:

$$T = \frac{100 v^{0,5} s^{0,28} l^{0,16}}{d^{0,38}} = \frac{100 \cdot 30^{0,5} 0,2^{0,28} 22^{0,16}}{20^{0,38}} = 183^\circ\text{C}.$$

Приклад 9.3 (Температура свердління #1)

Розрахувати температуру різання на периферії різальної кромки свердла для збільшеної глибини свердління.

Вихідний дані:

$v = 30$ м/хв швидкість різання;

$s = 0,2$ мм/об подача;

$l = 75$ мм довжина оброблюваного отвору;

$d = 20$ мм діаметр свердла.

Рішення:

1. Розрахункова температура на периферії різальної кромки свердла становить:

$$T = \frac{100 v^{0,5} s^{0,28} l^{0,16}}{d^{0,38}} = \frac{100 \cdot 30^{0,5} 0,2^{0,28} 75^{0,16}}{20^{0,38}} = 223^\circ\text{C}.$$

Приклад 9.4 (Температура свердління #3)

Розрахувати температуру різання і зоні поперечної різальної кромки свердла.

Вихідні дані:

- $v = 30$ м/хв швидкість різання;
 $s = 0,2$ мм/об подача;
 $l = 22$ мм довжина оброблюваного отвору;
 $d = 20$ мм діаметр свердла.

Рішення:

1. Розрахункова температура у зоні поперечної різальної кромки

$$T = \frac{120 v^{0,65} s^{0,3} l^{0,3}}{d^{0,45}} = \frac{120 \cdot 30^{0,65} 0,2^{0,3} 22^{0,3}}{20^{0,45}} = 443^{\circ}\text{C}.$$

Висновок 1. Під час свердління найбільший вплив на температуру в зоні різання має швидкість різання.

Висновок 2. Із збільшенням глибини отвору температура в зоні різання дещо підвищується. Це можна пояснити погіршенням відведення тепла через нестачу охолоджувальної рідини.

Висновок 3. Із збільшенням діаметру свердла температура в зоні різання зменшується. Це можливо пояснити збільшенням рідини, що проникає в зону різання та покращенням відводу тепла, за рахунок збільшення розмірів.

Висновок 4. Під час свердління найбільша температура в зоні поперечної різальної кромки. Це можливо пояснити тим, що поперечна різальна кромка не ріже, а зминає метал заготовки.

9.4 Питання для самоконтролю

1. Що призводить до виділення теплової енергії під час оброблення різанням?
2. Які чинники впливають на виділення тепла в зона різання?
3. Які чинники впливають на відведення тепла із зони різання?
4. Опишіть загальний характер розподілу теплових потоків.
5. У чому проявляється градієнт температури під час оброблення різанням?
6. Назвіть основні зони утворення тепла під час різання.
7. Назвіть основні зони поглинання тепла під час різання.
8. Опишіть калориметричний метод вимірювання температури в зоні різання.
9. Опишіть метод вимірювання температури в зоні різання із застосуванням термопар.
10. У чому полягає ефект Зеебека?
11. Яка різниця між холодним та гарячим спаєм термопар?
12. Як виміряти температуру в зоні різання під час точіння?
13. Дайте характеристику природній термопарі.
14. Дайте характеристику штучній термопарі.
15. За якою схемою можливо визначити температуру в зоні різання під час свердління?
16. Як змінюється температура в зоні різання із зміною швидкості різання?
17. Чи впливає діаметр (розмір) свердла на температуру в зоні різання?

10 ЗНОС ІНСТРУМЕНТІВ

Причиною зносу різальних інструментів є тертя збігаючої стружки об передню поверхню, та поверхні різання об задню поверхню.

Чітко видимі сліди зносу можливо спостерігати:

- переважно по передній поверхні;
- переважно по задній поверхні;
- одночасно по передній та задній поверхням.

Знос по передній поверхні

Переважний знос різального леза по передній поверхні (рис. 10.1) відбувається у випадку, коли товщина зрізуваного шару металу перевищує 0,2 мм, а процес різання здійснюється з відносно великою швидкістю різання без застосування охолоджувальної рідини.

Знос по передній та задній поверхням

Одночасний знос різального леза по передній та задній поверхням (рис. 10.2) відбувається, коли товщина зрізуваного шару металу перевищує 0,2 мм, а процес різання відбувається із застосуванням охолоджувальної рідини при середній швидкості різання. Зазвичай це процеси чорнового оброблення.

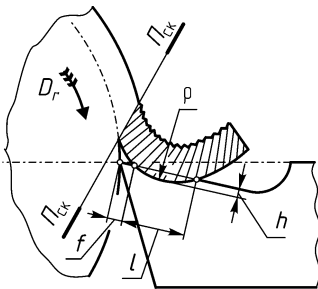


Рис. 10.1. Знос по передній поверхні

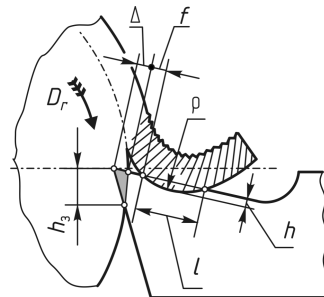


Рис. 10.2. Знос по передній та задній поверхням

Знос по задній поверхні

Переважаючий знос по задній поверхні (рис. 10.3), відбувається коли товщина зрізаного шару металу менше 0,2 мм і процес різання відбувається із застосуванням охолоджувальної рідини. Зазвичай, це процеси чистового (фінішного) оброблення.

Зауваження. Не треба вважати, що знос леза відбувається тільки по якійсь одній поверхні. Насправді, знос різального леза відбувається по всіх поверхнях, але на якійсь одній він значно переважає (або біль-менш однаковий).

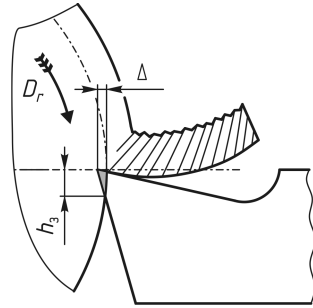


Рис. 10.3. Знос по задній поверхні

Знос інструмента відбувається під час оброблення будь-яких матеріалів, і за будь-яких режимах (умовах) різання. У залежності від властивостей матеріалу заготовки, інструмента та умов оброблення характер та інтенсивність зносу будуть різними.

Зазвичай, під час чорнового оброблення спостерігається знос переважно по передній поверхні, а при чистовому обробленні переважно по задній.

10.1 Типи зносу

Процес зносу інструмента (рис. 10.4) дуже складний. Він обумовлений фізико-механічними властивостями матеріалів, що приймають участь в утворенні стружки (лезо інструмента та заготовка). Серед існуючих типів зносу, в загальному випадку, преvalюють – абразивний, адгезійний та дифузійний зноси.

Абразивний знос

Абразивний знос характеризується подряпинами поверхні леза твердими (абразивними) включеннями оброблювального матеріалу. Тверді включення заготовки поступово видаляють приповерхневі шари леза (мікрорізанням). Одночасно з абразивним зносом відбувається адгезійний знос.

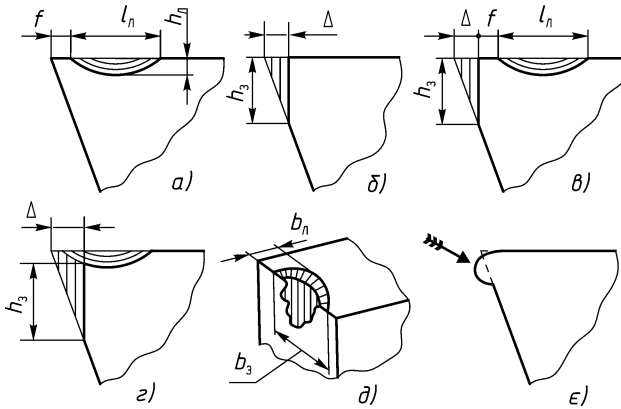


Рис. 10.4. Типи зносу різального леза

- a* – переважний знос тільки по передній поверхні (розмір оброблюваної деталі не змінюється через знос);
- б* – переважний знос тільки по задній поверхні (розмір оброблюваної деталі змінюється через знос);
- в* – динаміка одночасного зносу по передній та задній поверхнях при наявності фаски на передній поверхні;
- г* – динаміка одночасного зносу по передній та задній поверхнях при відсутності фаски на передній поверхні;
- д* – знос у вигляді лунки на різальному лезі;
- е* – знос у вигляді пластичного деформування різальної кромки (зазвичай результат підвищеної температури при виготовленні леза із інструментальної сталі);
- $h_з$ – величина зносу різального леза;
- $l_л$ – ширина лунки зносу вздовж різальної кромки;
- $b_л$ – глибина локальної лунки;
- Δ – величина зміни розміру оброблюваної деталі;
- f – залишкова фаска.

Адгезійний знос.

Адгезійний характер зносу пов'язаний із взаємодією матеріалів заготовки та інструмента на молекулярному рівні. Під час ковзання стружки по поверхні леза, в процесі терті, матеріали заготовки та інструмента зварюються на мікрорівні. Внаслідок тертя частки стружки зривають мікрочастинки інструмента і видаляють їх із зони різання. Тобто частинки матеріалу інструмента будучи привареними до стружки відносяться нею.

Дифузійний знос

При дифузійному зносі відбувається взаємне проникнення молекул матеріалу інструмента та стружки (заготовки). Дифузійний знос, це взаємне легування інструмента та деталі, коли під дією високих температур та тисків виникає обмін молекулами.

Дифузійний тип зносу найбільш характерний при використанні інструментів виготовлених із твердих сплавів.

10.2 Інтенсивність зносу

На інтенсивність зносу впливають наступні чинники:

- фізико-механічні властивості та структурний стан взаємодіючих металів – інструмента й виробу;
- зусилля, що виникають на поверхнях взаємного тертя стружки та інструмента;
- температура на поверхні тертя.

За критерій зносу, в усіх випадках, приймають найбільшу ширину h_z зношеної площадки на задній поверхні інструмента. Найбільша ширина зношеного контактного майданчика, зазвичай, має місце на кутових сполученнях головних і допоміжних різальних кромки. Саме по ній визначають ступінь зносу інструментів.

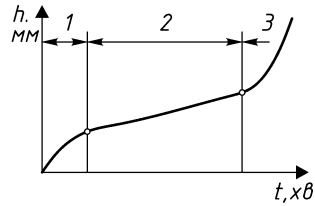
Інтенсивність зносу можливо представити графічно як криву залежності величини зносу h (рис. 10.4) від часу t роботи інструмента. Крива зносу має три чітко виділені ділянки (рис. 10.5).

Початковий знос

На ділянці I початкового зносу відбувається достатньо інтенсивне зношування різального леза. Заточене “нагостро” лезо має дуже малий радіус округлення різальної кромки і тому вона швидко змінює свій розмір та форму.

Нормальний знос

Після досягнення певного розміру округлення кромки процеси зносу стабілізуються і починається процес більш-менш стабільного процесу зношування різального леза. Ділянка 2, це саме та ділянка, що відображає час працездатності інструмента.

**Катастрофічний знос**

Після певного часу роботи інструмента виникають катастрофічні зміни різального леза. Величина зносу h та радіус округлення досягають критичної межі (для конкретних умов роботи) і інструмент починає інтенсивно втрачати різальні властивості, що відповідає ділянці 3 графіку.

Рис. 10.5. Залежність зносу від часу роботи інструмента

При роботі “насухо” інтенсивність зносу токарних прохідних різців мала, і упродовж усієї їх роботи на задній грані спостерігається повільне збільшення вузької смужки витертого контактного майданчика. Після закінчення певного проміжку часу (різного для різних умов різання, головним чином для різних швидкостей різання) настає різка зміна умов тертя на контактних площинах, інтенсивність зносу катастрофічно зростає.

Причиною, що викликає таке стрімке зростання інтенсивності зносу, є підвищення температури на поверхнях, що труться.

10.3 Питання для самоконтролю

1. У чому полягає суть абразивного зносу інструмента?
2. У чому полягає суть адгезійного зносу інструмент?
3. У чому полягає суть дифузійного зносу інструмента?
4. В якому випадку перевагу має знос інструмента по передній поверхні?
5. В якому випадку перевагу має знос інструмента по задній поверхні?
6. В якому випадку відбувається одночасний знос інструмента, як по передній, так і по задній поверхням?
7. Чи рівномірна інтенсивність зносу інструмента під час його роботи?
8. Які процеси відбуваються під час початкового зносу різального інструмента?
9. Чи можлива експлуатація різального інструмента в зоні катастрофічного зносу?
10. Чи впливає температура в зоні різання на інтенсивність процесів зношування різаного інструмента?
11. Викреслить графік загальної залежності зносу інструмента від часу його роботи.
12. Поясніть ,як впливає товщина зрізуваного шару на характер зносу різального інструмента.
13. Поясніть причини виникнення початкового зносу різаного інструмента.
14. Які процеси превалюють на етапі критичного зносу різаного інструмента.

Частина IV

ТОЧІННЯ

11 ОБРОБЛЕННЯ ТОЧІННЯМ

Особливості лезових різальних інструментів розроблені в державних стандартах України та визначають процес механічного оброблення різанням: ДСТУ 2233-93 “Інструменти різальні” та стандарт ДСТУ 2249-93 “Оброблення різанням”.

Оброблення різанням

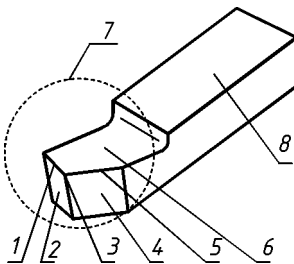
Це оброблення, що полягає в утворенні нових поверхонь шляхом відділення поверхневих шарів матеріалу з утворенням стружки. Утворення нових поверхонь супроводжується деформуванням та руйнуванням поверхневих шарів матеріалу.

Різальний інструмент

Це інструмент, який здійснює механічне оброблення різанням.

11.1 Конструкційні параметри

Конструкція різальних інструментів складається з леза інструмента та кріпильної частини (рис. 11.1).



- 1 – допоміжна різальна кромка;
- 2 – допоміжна задня поверхня;
- 3 – вершина різця;
- 4 – головна задня поверхня;
- 5 – головна різальна кромка;
- 6 – передня поверхня;
- 7 – головка різця;
- 8 – тіло різця.

Рис. 11.1. Конструктивні елементи
токарного різця

Різець складається з головки, тобто робочої частини, і тіла, що призначене для закріплення різця в різцетримачі.

Лезо інструмента це клиноподібний елемент різального інструменту, який здійснює проникнення в матеріал заготовки і відокремлення поверхневого шару матеріалу.

Кріпильна частина різального інструмента це частина різального інструмента, за допомогою якої здійснюється закріплення різального інструмента в технологічному обладнанні або пристосуванні.

Лезовий інструмент це різальний інструмент, який складається з заданої кількості лез певної форми, яку можна поновити в процесі заточування після спрацювання інструменту.

Лезо інструменту утворюється в процесі заточування інструменту шляхом послідовного або одночасного оброблення його окремих елементів.

Робоча частина різця має такі конструктивні елементи та поверхні (рис. 11.2):

- передню поверхню A_γ ;
- дві задні поверхні – головну A_α і допоміжну A'_α ;
- різальні кромки: головну K і допоміжну K' ;
- вершину різця B , яка є точкою перетину трьох поверхонь що утворюють робочу частину різця (передня та дві задні).

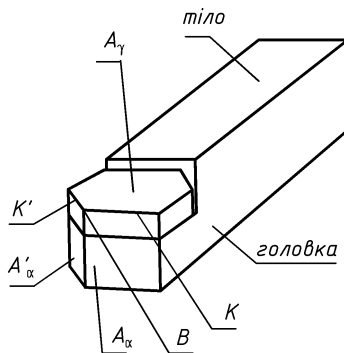


Рис. 11.2. Поверхні токарного різця

Передня поверхня A_γ – це поверхня леза інструмента, що контактує в процесі різання із стружкою. На передній поверхні шар металу, що видаляється, деформується і ковзає при дуже високих питомих тисках, викликаючи знос і підвищений нагрів інструменту.

Головна задня поверхня A_α – це поверхня леза інструмента, що контактує в процесі різання з поверхнею заготовки. Вона обернена в бік необробленої поверхні заготовки.

Головна різальна кромка K – це кромка, утворена перетином передньої і задньої головної поверхонь. Ця кромка формує велику сторону зрізу шару металу, що видаляється різцем.

Допоміжна різальна кромка K' – це кромка, що формує меншу сторону зрізу шару металу, що видаляється різцем. Ця кромка звернена до вже обробленої поверхні деталі.

Допоміжна задня поверхня A'_α – це задня поверхня леза інструмента, що примикає до допоміжної різальної кромки і звернена до вже обробленої поверхні деталі.

Вершина різця B – місце сполучення передньої і двох задніх поверхонь – точка перетину головної і допоміжної різальних кромки.

Для токарних різців, свердел, вершина леза утворюється при перетині головної та допоміжної різальних кромки і може бути представлена у вигляді точки, радіусної або прямолінійної ділянки. Для зменшення величини параметрів шорсткості обробленої поверхні, вершину леза інструмента утворюють плавним з'єднанням головної та допоміжної задніх поверхонь циліндричною, або конічною поверхнею радіуса r_v .

У таких випадках вершину леза інструмента характеризують радіусом вершини r_v .

Необхідно приймати до уваги, що радіус закруглення різальної кромки та радіус вершини мають значний вплив на фізичні умови процесу оброблення та характеристики параметрів якості обробленої поверхні.

11.2 Геометричні параметри

Геометричні параметри різальної частини інструмента – це кути різального інструмента, які визначають положення робочих поверхонь та різальних кромки у просторі.

Геометричні параметри в значній мірі впливають на процес утворення стружки, працездатність різального інструмента, продуктивність процесу оброблення та характеристики поверхневого шару обробленої поверхні.

Для визначення геометричних параметрів різальної частини інструмента стандартом ДСТУ 2249-93 “Оброблення різанням”, передбачається застосування трьох систем координат, а саме:

- інструментальної системи координат (ІСК);
- статичної системи координат (ССК);
- кінематичної системи координат (КСК).

Інструментальна система координат – це прямокутна система координат з початком на вершині леза інструмента, що орієнтована відносно геометричних елементів різального інструмента, які прийнято за базу. Ця система координат застосовується в процесі виготовлення інструмента та контролю його геометричних параметрів.

Статична система координат – це прямокутна система координат з початком у заданій точці різальної кромки, яка орієнтована відносно напрямку швидкості головного руху різання. Використовується для налагодження інструмента на верстаті та розрахунку кутів різального інструмента.

Кінематична система координат – це прямокутна система координат з початком у заданій точці різальної кромки, яка орієнтована відносно напрямку швидкості результатного руху різання. Вона використовується для визначення зміни кутів різальної частини інструмента в процесі оброблення.

Для визначення геометричних параметрів різця в будь-якій системі координат, необхідно побудувати систему координатних площин (рис. 11.3), яка включає: основну площину – P_v , площину різання – P_n , січну площину P_τ .

Основна площина різання P_v – це координатна площина, проведена через задану точку різальної кромки перпендикулярно до напрямку швидкості головного або результатного руху різання в цій точці. У токарних різців за основну площину може бути прийнята площина паралельна до нижньої опорної поверхні різця. Але треба мати на увазі – основна площина проходить через досліджувану точку різальної кромки різця.

Площина різання P_n – це площина, дотична до різальної кромки в заданій точці і перпендикулярна до основної площини. Вона співпадає з вектором швидкості різання.

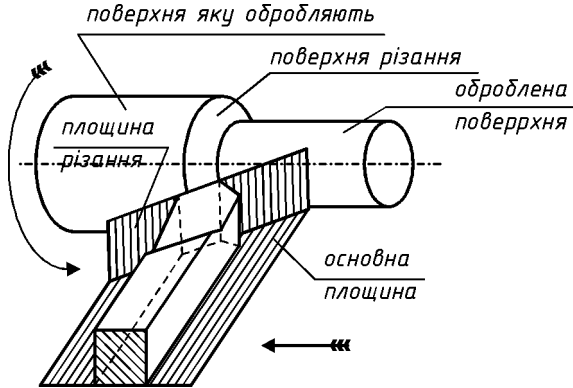


Рис. 11.3. Координатні площини при точінні

Головна січна площина P_τ – площина, перпендикулярна до лінії перетину основної площини P_v і площини різання P_n . Вона перпендикулярна до проекції різальної кромки на основну площину P_v . Не треба плутати головну січну площину з площиною перпендикулярною до різальної кромки.

Робоча площина P_s – це площина, в якій розташовані напрями (вектори) швидкості головного руху та руху подачі.

Закономірності побудови координатних площин у різних системах координат представлено на рис. 11.4 та рис. 11.5.

У залежності від системи координат, для якої проводяться наведені координатні площини вони додатково позначаються індексами: i – інструментальна система координат; s – статична система координат; κ – кінематична система координат, наприклад P_{sc} , P_{vc} , P_{nc} , $P_{\tau c}$, $P'_{\tau c}$.

Побудова системи координатних площин для прямого прохідного різця представлена на рис. 11.6.

Основні геометричні параметри токарного різця представлені на рис. 11.7

За ДСТУ 2249-93 перелічені вище елементи, що характеризують геометричні параметри інструмента, мають такі визначення (рис. 11.8).

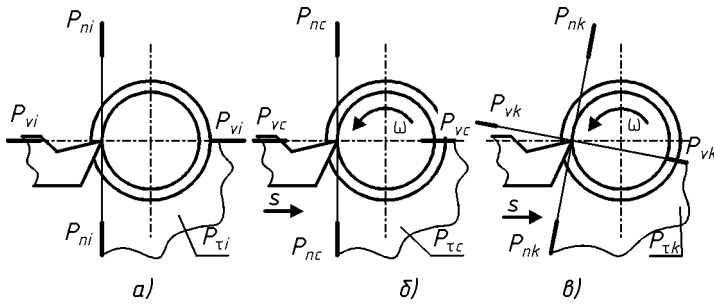


Рис. 11.4. Координатні площини відрізного різця

- a* – інструментальна система координат;
- б* – статична система координат;
- в* – кінематична система координат.

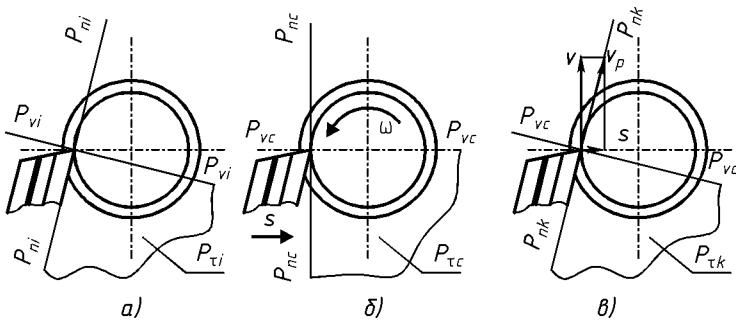


Рис. 11.5. Координатні площини фасонного різця

- a* – інструментальна система координат;
- б* – статична система координат;
- в* – кінематична система координат.

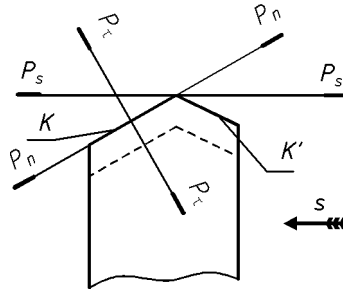


Рис. 11.6. Координатні площини прохідного різця

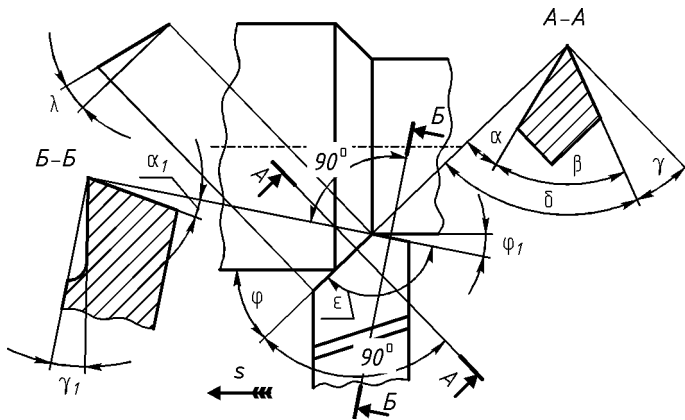


Рис. 11.7. Геометричні параметри різця

- α та α_1 – задні кути;
- γ та γ_1 – передні кути;
- φ та φ_1 – кути у плані;
- β – кут загострення;
- ϵ – кут при вершині;
- δ – кут різання;
- λ – кут нахилу головної різальної кромки;
- s – напрямок подачі.

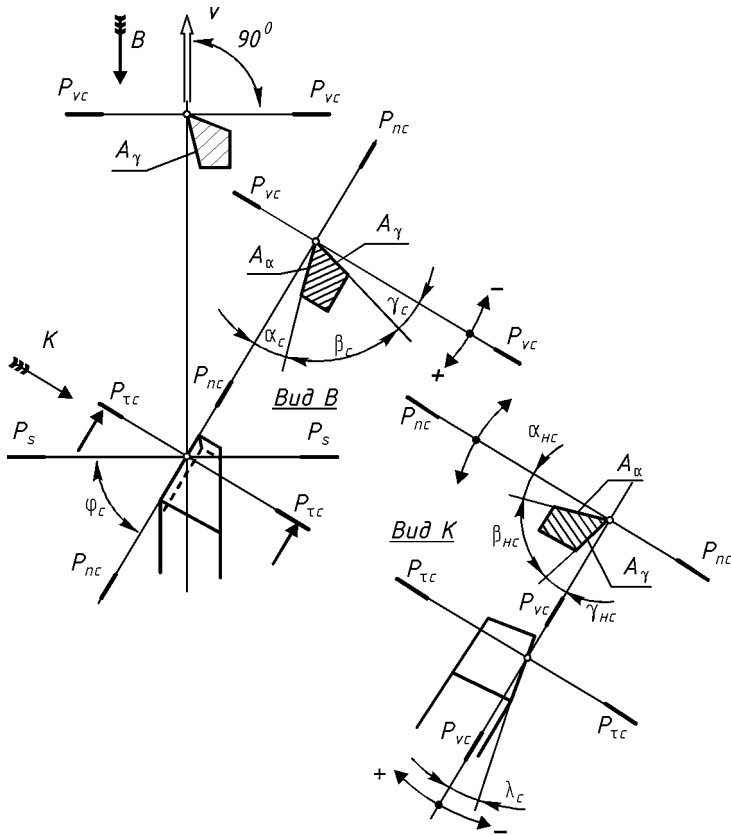


Рис. 11.8. Різець у статичній системі координат

Головний різальний кут γ – це кут у головній січній площині P_τ , між передньою поверхнею леза A_γ і основною площиною P_v ;

Головний задній кут α – це кут у головній січній площині P_τ між задньою поверхнею A_α і площиною різання P_n .

Кут різання δ вимірюють у головній січній площині P_τ між передньою поверхнею леза A_γ і площиною різання P_n .

Головний кут загострення β – це кут у головній січній площині P_τ між передньою A_γ і задньою A_α площинами леза різця.

Кут в плані ϕ – це кут, у основній площині P_v між площиною різання P_n і робочою площиною P_s .

Допоміжний кут у плані ϕ_1 – менший кут між проекцією допоміжної різальної кромки на основну площину і робочою площиною P_s .

Кут при вершині у плані ϵ – кут між проекціями головної і допоміжної різальних кромки на основну площину.

Кут нахилу кромки λ – кут у площині різання P_n між різальною кромкою і основною площиною P_v . Кут λ нахилу головної різальним вважається додатнім, коли вершина різця є нижчою точкою різальної кромки і від'ємним, коли вершина різця є найвищою точкою різальної кромки.

Для графічного представлення геометричних параметрів різальної частини лезових різальних інструментів доцільно використовувати узагальнене представлення кута нахилу різальної кромки всіх її можливих значень (рис. 11.9).

Геометричні параметри різальної частини лезових різальних інструментів визначають всім кутів, радіус вершини та радіус округлення різальної кромки.

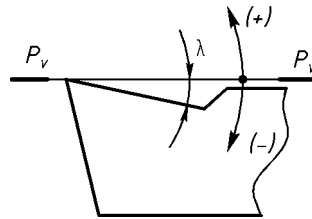


Рис. 11.9. Вимірювання кута нахилу різальної кромки

11.3 Питання для самоконтролю

1. Дайте пояснення терміну “лезо інструмента”.
2. Назвіть основні частини токарного цільного різця.
3. Покажіть на токарному різці передню поверхню.
4. Як утворена різальна кромка на токарному різці?
5. Викреслить токарний різець та позначте задню, та передню поверхні.
6. Яке призначення координатних систем в інструментальному виробництві?
7. Яка різниця між інструментальною і статичною системами координат?
8. Яка різниця між статичною і кінематичною системами координат?
9. Як розташована в просторі основна площина?
10. Скільки основних площин може мати звичайний цільний токарний різець?
11. Як виміряти кут нахилу різальної кромки токарного різця?
12. В якому випадку кут нахилу різальної кромки має додатне значення?
13. В якому випадку кут нахилу різальної кромки має від’ємне значення?
14. Як виміряти кут різання?
15. Чи залежить кут у плані від напрямку подачі?
16. Які елементи різця утворюють його вершину?
17. Вкажіть розташування координатних площин для токарного фасонного різця.
18. Чи залежить величина переднього кута від напрямку подачі?
19. По якій поверхні різального леза сходить зрізана стружка?

12 ТИПИ РІЗЦІВ

Різець – один з найбільш простих і поширених металорізальних інструментів. Він зрізає шар металу своєю головною різальною кромкою, що має пряму або фасонну форму. Подача різця здійснюється перпендикулярно руху різання.

Основні типи токарних різців у залежності від технологічного призначення і конструктивних особливостей наведені на рис. 12.1.

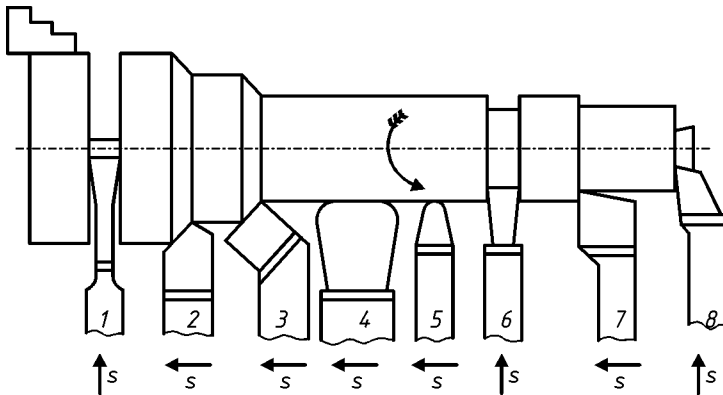


Рис. 12.1. Види токарних різців

- | | |
|---------------------------|-----------------------------|
| 1 – відрізний; | 5 – радіусний; |
| 2 – прохідний прямий; | 6 – прорізний (канавковий); |
| 3 – прохідний відігнутий; | 7 – прохідний упорний; |
| 4 – лопатковий; | 8 – підрізний. |

Прохідний різець (рис. 12.2) призначений для обточування деталі “напрохід”, без будь-яких уступів або канавок.

Підрізний різець (рис. 12.3.) призначений для підрізання торців заготовки і отримання уступів.

Відрізний різець (рис. 12.4) призначений для відрізання заготовки. Для збільшення міцності відрізного різця висота його H у 10 разів більше головної різальної кромки.

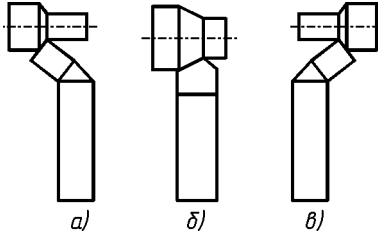


Рис. 12.2. Прохідний токарний різець

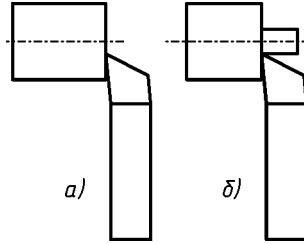


Рис. 12.3. Підрізний різець

Розточувальний різець (рис. 12.5) – призначений для обробки внутрішніх циліндричних поверхонь.

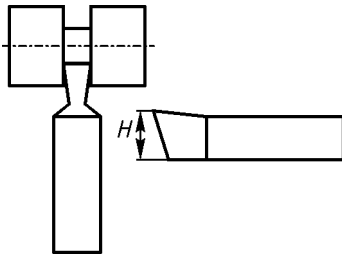


Рис. 12.4. Відрізний різець

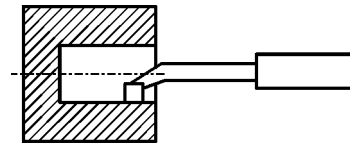


Рис. 12.5. Розточувальний різець

Фасонний різець (рис. 12.6) – це токарний різець, різальна кромка якого має складну, нелінійну (фасонну) форму.

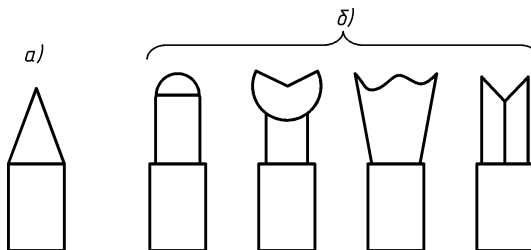


Рис. 12.6. Фасонний різець

a – різьбовий різець;
б – фасонні різці.

12.1 Вимоги до конструкції різця

Загальні принципові вимоги до конструкції різця зводяться до забезпечення наступних показників:

- високою продуктивністю обробки;
- стійкої безпечної форми стружки при заданих умовах обробки;
- економічності у виготовленні й експлуатації різців.

У розвитку зазначених загальних вимог визначаються “основні вимоги” до різця:

- у міру підвищення ступеня автоматизації верстатів, більш доцільним є механічне закріплення різальних пластинок у різцях, що виключає їх напайку та переточування;
- у конструкції різців слід застосовувати більш прогресивні різальні матеріали, що допускають обробку з підвищеною швидкістю різання;
- для отримання сприятливої форми стружки слід використовувати оптимальну геометрію канавок різальних пластинок;
- під різальною пластиною потрібно передбачати опорну пластинку, яка захищає державку від пошкодження при руйнуванні різальної пластини.

Різець повинен бути економічним:

- за витратою твердого сплаву на одну різальну кромку;
- за терміном служби й вартості державки для збірних різців;
- за кількістю можливих переточувань для різців з напаяними пластинами і можливістю використання двох сторін для переточуваних різальних пластин;
- середня стійкість для напаяних пластин різців повинна становити 20...30 хвилин, для змінних пластин – 15...20 хвилин;
- геометрія різця повинна захищати різальну кромку від відколів і викришування, у тому числі і при ударному навантаженні на різець.

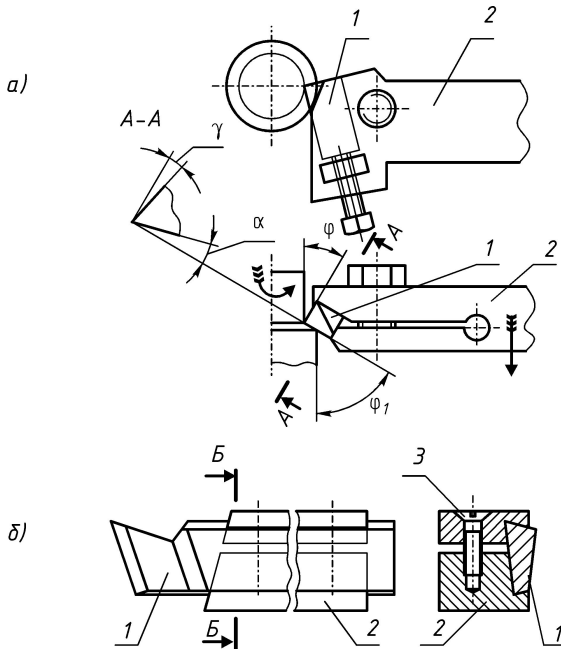


Рис. 12.7. Швидкорізальні різці збірних конструкцій

- а* – тангенціальний;
б – відрізний.

12.2 Різці збірної конструкції

Для швидкорізальних різців характерно механічне кріплення різальної вставки в корпусі різця (рис. 12.7). У тангенціального прохідного різця швидкорізальна вставка 1, у вигляді призми, кріпиться у відповідному пазу корпуса 2 (рис. 12.7,а). Швидкорізальна вставка 1 відрізного різця кріпиться в пазу типу “ластівка” корпуса 2, шляхом затягування гвинта 3 (рис. 12.7,б).

Механічне кріплення стандартних переточуваних пластин твердого сплаву покладено в основу різця конструкції (рис. 12.8,а), де пластина 1 укладається на сталеву загартовану підкладку 5 і затискається прихватом 3 при затягуванні гвинта 2. Клин 4, з рифленнями на опорній поверхні, запобігає зсуву пластини в роботі.

Різновидом подібної конструкції є різець з кріпленням пластини 6

силами різання (рис. 12.8,б). Прихват 7 і підпружинений штифт служать тільки для попереднього утримання пластини. Штифт утримує пластину від зсуву вздовж головної різальної кромки.

Наведені конструкції хоча й підвищують якість різців через усунення залишкових напружень від напайки, проте забезпечують малу кількість переточувань, тому що не використовується значна частина пластини, необхідна для її закріплення. Тому зазначені різці не отримали широкого застосування.

Більш досконалою конструкцією різців такого типу були різці з механічним кріпленням чекою 10 і гвинтом 14 твердосплавної призми 9 багатогранного, або круглого перетину (рис. 12.8,в). У корпусі різця 11 прорубано вікно форми, відповідної призми. Гвинт 13 з контргайкою 12 підтримує призму й використовується для регулювання її висоти. Заточка призми проводиться по передній (торцевій) поверхні, причому з кожного торця можна послідовно використовувати всі грані призми в якості головної різальної кромки. Коефіцієнт використання твердого сплаву тут набагато вище, ніж у попередніх конструкціях, тому різці такого типу мають значне поширення.

Механічне кріплення вставок, з напаяними пластинами твердого сплаву, з'явилося як наслідок прагнення збільшити кількість переточувань пластини. Проте такі різці не отримали широкого застосування в машинобудуванні, так як вони не усувають дефектів напайки пластини. Подібні конструкції, маючи високу жорсткість, зручність транспортування, зберігання і установки на верстаті (замінюється тільки ніж), широко використовуються у важкому машинобудуванні замість великих конструкцій з пластинами напаяними на корпусі.

Механічне кріплення багатограних непереточуваних пластин стало подальшим розвитком конструкцій збірних твердосплавних різців. Тонка пластина 16 центральним отвором насаджується із зазором 0,10...0,15 мм на штифт 17, запресованих у корпус 15 (рис. 12.8,г), і кріпиться клином 18, що затягується гвинтом 19. Після зношування однієї грані пластину повертають на наступну грань. Таким чином, пластина використовується стільки разів, скільки різальних граней, після чого знімається і здається на переробку.

Пластини випускаються з різними задніми кутами, від 0 до 30°. Остаточний задній кут різців отримують нахилом опорної площини під пластину. У результаті пластилини із заднім кутом, рівним нулю, на вузькій стрічці (шириною 0,2...0,3 мм) уздовж різальних кромки передній кут негативний, рівний задньому куту.

У більшості пластин з додатним заднім кутом, також передбача-

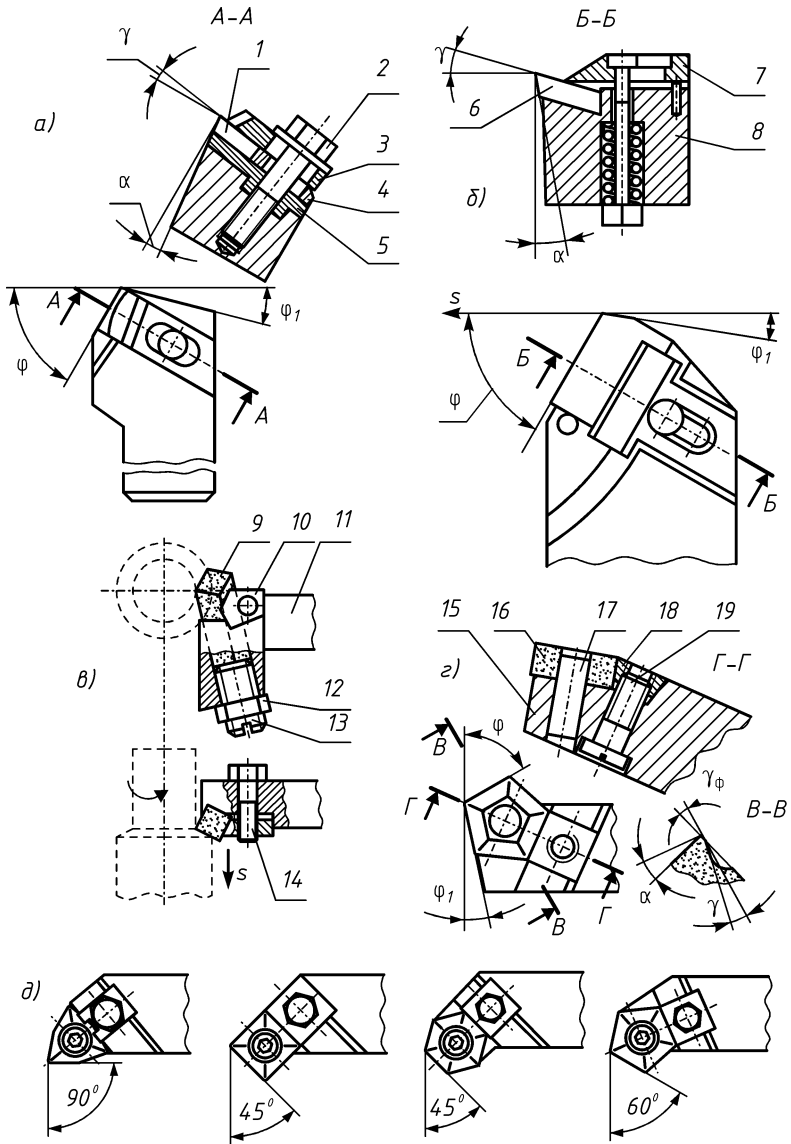


Рис. 12.8. Різці з механічним кріпленням пластин

ється зміцнювальна фаска уздовж різальних кромок. Основний додатний передній кут забезпечують канавки на передній поверхні, які виготовляють під час пресування пластинок перед спіканням. Пластини виготовляють з різною кількістю граней для отримання різних кутів різця в плані (рис. 12.8, д), а також круглі – для оснащення чистових різців. Пластини можуть кріпитися й іншими способами, зокрема ексцентричним штифтом, що притискає пластину до стінки корпусу.

У багатограних непереточуваних пластин, без центрального отвору й канавок на передній поверхні, обидві площині (передня і опорна) однакові. Кількість використовуваних різальних кромок у порівнянні з пластинами, що мають канавки, збільшується вдвічі за рахунок використання прихватів для установки пластини в державці. Однак різці з такими пластинами вимагають більш високої точності виготовлення.

Різці з непереточуваними пластинами мають у порівнянні з напайними наступні переваги:

- витрати на твердосплавні пластини зменшуються у два рази;
- витрати, пов'язані з виготовленням корпусів, зменшуються в дев'ять разів;
- сумарні витрати на інструмент, віднесені до однієї обробленої деталі, зменшуються в п'ять разів.

Крім того, різці із змінними пластинами дозволяють:

- підвищити продуктивність праці, за рахунок скорочення втрат часу на заміну й настройку при переточуваннях;
- спростити організацію зберігання та транспортування;
- спростити збір відходів твердого сплаву.

У зв'язку з цим різці з механічним кріпленням непереточуваних пластин є найбільш прогресивними. Єдиний недолік у порівнянні з напайними – знижена жорсткість і неможливість виготовлення малих розмірів.

Різці збірних конструкцій з мінералокерамічними пластинами виконуються тільки з механічним кріпленням пластин, аналогічно кріпленню пластин твердого сплаву.

Різці, оснащені алмазами та іншими твердими мінералами – завжди збірної конструкції. Алмази, наприклад, у багатьох випадках припаюють або запресовують у стрижнях невеликих розмірів, які

потім механічно кріпляться в корпусах різців. Крім зазначених, є конструкції, коли алмази або полікристали композитів кріпляться механічно безпосередньо в корпусах різців (рис. 12.9).

Встановлений у корпусі 1 на сферичній п'яті 2 алмаз 3 затискається прихватом 4 при затягуванні гвинта 5. Механічне кріплення алмазу краще, оскільки виключаються дефекти, властиві припаюванню.

У міру підвищення вимог до продуктивності й економічної ефективності обробки, втрати часу на заточку різців ставали все більш неприйнятними, тому була запропонована нова конструкція різців з непереточуваними багатограними різальними пластинами, що мають 3, 4, 5 та 6 граней. На рис. 12.10 показана така конструкція для 4-гранної пластини. У державці різця 1 запресований циліндричний штифт 2 і врізана опорна пластинка 3. На штифт вільно встановлюється різальна пластинка 4. Різальна пластинка розміщується в наскрізному відкритому пазу державки і притискається клиновою накладкою 6 за допомогою кріпильного гвинта 5. Клинова накладка, однією своєю стороною, впирається в наскрізний кутовий виріз державки, а іншою стороною притискає різальну пластину до нерухомого штифту 2.

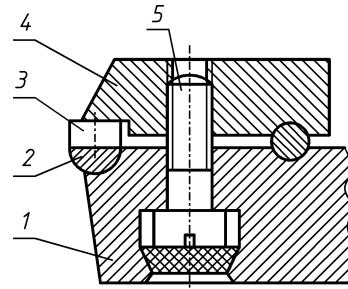


Рис. 12.9. Різець з механічним кріпленням алмаза

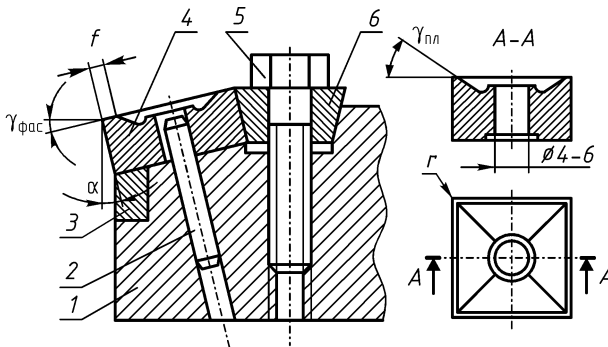


Рис. 12.10. Різець з багатогранною пластиною

На робочій поверхні різальні пластини мають канавки спеціальної

форми для формування стружки. У поперечному перерізі пластинки мають прямокутну форму з переднім кутом по канавці пластини $\gamma_{\text{пл}} = 20^\circ$ або $\gamma_{\text{пл}} = 25^\circ$. Плоска фаска по всьому периметру пластинки має розміри $f = 0,1 \dots 4$ мм у залежності від розміру твердосплавної пластинки.

Наявність фаски, при додатному передньому куті, дозволяє надати різальній кромці велику механічну міцність, оберігаючи її від сколювання й викришування. Для цього ж служить і радіус r заокруглення вершини різця в плані, величина якого значно впливає на підвищення стійкості різця. За даними фірми “Sandvik Coromant” величина подачі не повинна перевищувати $2/3$ радіуса заокруглення.

Конструкція різців ВНДІ з непереточуваними різальними пластинками забезпечіє наступні якості інструмента:

- повністю усуває процес пайки і переточування;
- проста у виготовленні й експлуатації;
- не має окремих додаткових елементів для формування стружки;
- створює безпечну форму стружки від спіральної до роздробленої, при досить широкому діапазоні оброблюваних матеріалів і режимів різання;
- не має виступаючих частин у зоні різання, на які могла б намотуватися стружка;
- маючи позитивний передній кут, зменшує зусилля різання;
- допускає швидкий поворот і зміну різальної пластинки;
- має зусилля різання яке збігається по напрямку з зусиллям закріплення, що підвищує надійність закріплення;
- виготовляється у вигляді повного комплекту з 3-, 4-, 5 та 6-гранних пластинок, що дозволяє, при масовому випуску, зменшити необхідність самостійного виготовлення різців кожним підприємством.

У подальшому конструкція удосконалювалася: опорна пластинка отримала форму різальної і стала розташовуватися безпосередньо під нею. Посадковий штифт 2 став виконуватися переважно з кільцевим або конусним гвинтом для більш надійного закріплення опорної пластинки.

Специфічний недолік конструкції з клиновим закріпленням різальної пластини полягає в наступному. Відсутність нормативних

жорстких вимог до розміру d у пластини, а також до розташування отвору в пластинці призводить до додаткової неточності положення вершини різця, а отже, до зміни діаметра оброблюваної заготовки. Конструкція різця має основне застосування для чорнової і напівчистої обробки в одиничному й серійному виробництві на універсальних верстатах.

На рис. 12.11 показано різець найбільш простої конструкції такого типу. Він складається з державки 1 з вирізом під різальну пластину, гвинта 2 з ексцентричною головкою, опорної пластинки 3 і різальної пластини 4. Закріплення пластинки здійснюється гвинтом 2 з нижньої сторони державки. Різець простий за своєю конструкцією та вартість його виготовлення невисока. Витрати часу на поворот і заміну пластини мінімальні.

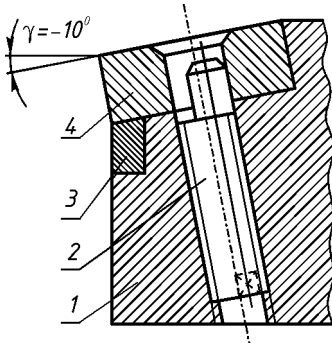


Рис. 12.11. Різець з ексцентричним штифтом

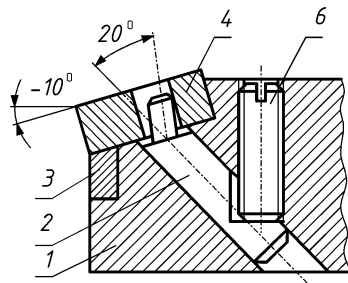


Рис. 12.12. Різець з тягою

До недоліків конструкції різця (рис. 12.11), що обмежує його застосування, відносяться: розбіжність у напрямку зусилля різання і зусилля закріплення, що може привести до ослаблення закріплення пластинки.

У зв'язку із зазначеним, різці такої конструкції слід застосовувати при малих навантаженнях на різець, зменшених значеннях t і s при безударній роботі, на напівчистових і чистових операціях.

Сприятливі виробничі умови для застосування різця – робота на універсальному обладнанні, при операційній роботі у дрібно- та середньосерійному виробництві.

На рис. 12.12 показаний різець, що застосовувався на заводах автовиробництва.

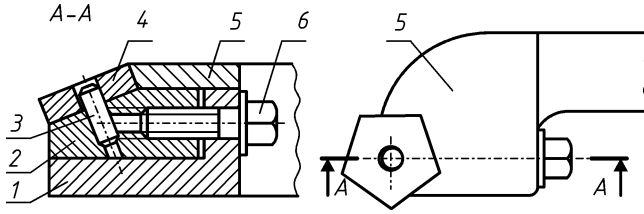


Рис. 12.13. Різець зі змінною пластиною

Конструкція аналогічна наведених на рис. 12.11 і відрізняється від неї більш складною формою державки *1* і деталі *2*, яка притискає пластину *4* до нерухомого упору державки. Також додатково є кріпильний гвинт *6*, що притискає виточку деталі *2*.

Удосконалення конструкції підвищили надійність закріплення різальної пластини. Цьому сприяло і збіг у напрямку зусиль закріплення і різання, що досягався при негативному передньому куті.

У конструкції різця (рис. 12.13) у виріз державки *1* входить рухомий сухар *2* з запресованим циліндричним штифтом *3*, що тримає різальну пластину *4*. При закручуванні кріпильного гвинта *6* пластинка впирається у нерухомий упор *5*, виконаний у вигляді накладки, закріпленої гвинтами на корпусі різця.

До недоліків конструкції слід віднести складність виготовлення і збільшені габарити.

Однією з найбільш ранніх конструкцій різців шведської фірми “Sandvik Coromant”, що зберегли своє актуальне значення до теперішнього часу, є конструкція T-MAX з регульованим накладним стружколомом.

На рис. 12.14 показаний різець з 4-гранною непереточуваною різальною пластиною без отвору і без канавок для формування стружки. Державка різця *1* (разом з глухим гніздом під опорну *2* і різальну *4* пластинки) являє собою одну цілу деталь. Твердість її становить HRC 42-46. Опорна пластина *2* закріплюється у гнізді спеціальною розрізною пружною втулкою *3*. Характерною особливістю різця є конструкція регульованого стружколому *5*.

У своїй передній частині стружколом спирається на різальну пластину по лінії (що геометрично відповідає двом точкам). У задній своїй частині стружколом спирається на корпус різця у одній середній точці.

Стружколом, виготовлений з твердого сплаву BK10, має на верхній поверхні три зубці. Ці зубці служать для установки стружко-

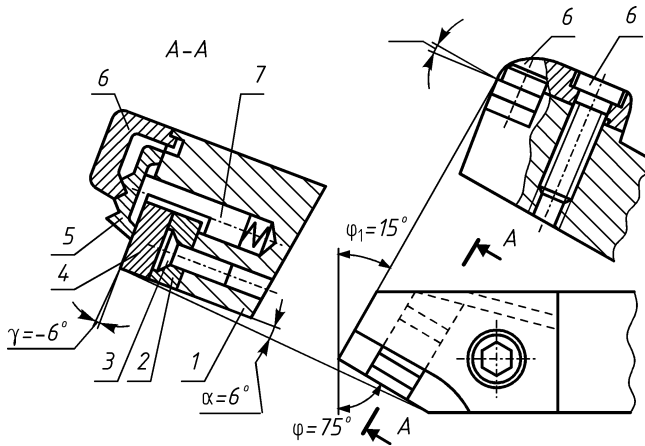


Рис. 12.14. Різець конструкції T-MAX
[Sandvik Coromant]

лому з метою отримання різної величини виступу (відстані від різальної кромки до стружколому). Розмір ступенів відповідає трьом різним значенням подачі: $s < 0,25$ мм/об; $s = 0,25 \dots 0,5$ мм/об та $s > 0,5$ мм/об.

Кріпильний гвинт 8 з втопленою головкою і внутрішнім шестигранником під ключ стягує через прихват 6 всі збірні елементи різця. Для зняття або повороту пластинки, різцетримач має підпружинений штифт 7, що впирається своїм зрізом у опорну пластинку і утримує стружколом і прихват у заданому налаштуванні положенні. На поворот або зміну пластинки в такій конструкції потрібно до 30 секунд часу. Прихват двома точками спирається на корпус різцетримача і однією точкою – на рифлений стружколом.

Різці конструкції T-MAX складні і набули поширення у зарубіжних автоматичних лініях головним чином для зовнішнього чорнового точіння при обробці жароміцних і нержавіючих матеріалів. У різці застосовуються пластинки 3-, 4-гранної форми.

Різець англійської фірми "Vikman" (рис. 12.15), також застосовується у автоматичних лініях. У корпусі різця 1 зроблений прямокутний наскрізний виріз з дотриманням кутів $\gamma = -8 \dots -10^\circ$ і $\lambda = 6^\circ$. У цьому вирізі розміщуються всі інші деталі різця. З упором у задній торець вирізу встановлюється проміжна деталь 2, що має наскрізний двогранний виріз як гніздо для розміщення опорної 3 і різальної 4 пластин.

Різальна пластина утримується на місці штифтом, запресованим у корпусі державки. На своїй верхній площині деталь 2 має вузький прямокутний паз для установки прихвата (аналогічно різцю фірми “Sandvik Coromant”).

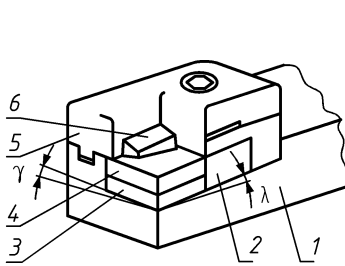


Рис. 12.15. Різець для автоматичних ліній
[корпорація Vikman]

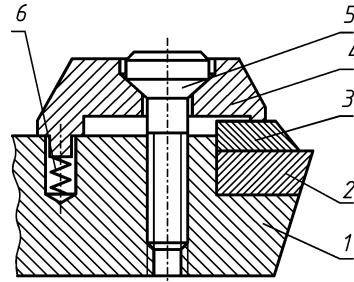


Рис. 12.16. Різець збірний
[Sandvik Coromant]

Особливістю різця є простіша форма регульованого стружколому у вигляді плоскої пластинки 6, а також надійна форма контакту стружколома з різальною пластиною по всій площі контакту. Іншою позитивною особливістю є технологічно просто здійснене наскрізне гніздо в деталі 2 під опорну й різальну пластини.

Фірмою “Sandvik Coromant” застосовувалася також і спрощена конструкція різця (рис. 12.16).

У глухому пазі державки 1 розміщуються різальна пластинка 2 і плоска пластинка-стружколом 3. Одночасне закріплення обох пластин здійснюється прихватом 4 за допомогою гвинта 5, що має з внутрішнього боку головки напівсферичну форму, що спирається на конусну частину отвору прихвата.

У задній частині прихвата є циліндричний виступ, що входить у отвір різцетримача і спирається на пружину 6. Конструкція передбачає застосування як додатного переднього кута $\gamma = 6^\circ$ з пластиною, яка має задній кут $\alpha_{пл} = 11^\circ$, так і від'ємного переднього кута $\gamma = -6^\circ$ з пластиною прямокутного перетину $\alpha_{пл} = 0^\circ$. Згодом аналогічний різець увійшов у сучасну конструкцію фірми з Г-подібним прихватом для 3 і 4-гранних пластин.

12.3 Вітчизняні різці

Вітчизняні розробки привели до створення чотирьох базових конструкцій різців. Ці конструкції, згідно міжнародної системи ISO, передбачають чотири схеми закріплення різальних пластин у різцетримачі й відповідають ГОСТ 26476-85.

Схеми закріплення різальних пластин у різцетримачі

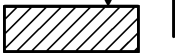
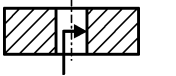
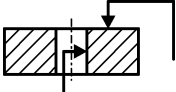

	Тип <i>C</i>	– пластина без отвору
	Тип <i>P</i>	– пластина з циліндричним отвором
	Тип <i>M</i>	– пластина з циліндричним отвором
	Тип <i>S</i>	– пластина з фасонним (тороїдним) отвором

Схема закріплення *C*

Конструкція різця за схемою закріплення *C* з прихватом і різальною пластинкою без отвору і без стружкових канавок. Ця конструкція запропонована у двох виконаннях. У першому виконанні (рис. 12.17) різець призначений для роботи з від'ємним робочим переднім кутом. Формування стружки здійснюється за допомогою спеціальних пластин – стружколомів. У глухому гнізді державки *1* розміщуються опорна *2* і різальні *4* пластини, а також плоска пластинка – стружколом *5*. Усі пластинки закріплюються через прихват *6* у гнізді державки кріпильним диференціальним гвинтом *7* з правою або лівою різьбою.

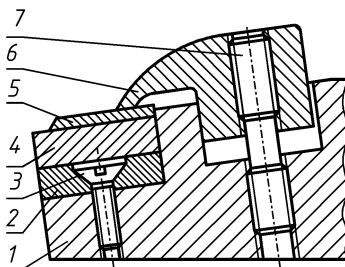


Рис. 12.17. Різець типу *C* з негативним переднім кутом

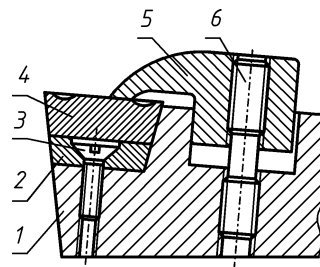


Рис. 12.18. Різець типу *C* з позитивним переднім кутом

Прямокутний переріз пластини з кутом $\alpha_{\text{пл}} = 0^\circ$ дозволяє застосовувати підвищену швидкість різання, збільшує механічну міцність і робить можливим її двостороннє використання. Стружколоми мають найпростішу плоску форму й входять до комплекту збірного різця у вигляді набору різних розмірів з тим, щоб забезпечити оптимальну величину виступу при обробці різних матеріалів у широкому діапазоні режимів різання. Глухий паз для пластин у державці створює їх надійне закріплення, а також підвищену точність позиціювання. Диференціальний кріпильний гвинт сприяє швидкому повороту й заміні різальної пластини.

При від'ємному передньому куті γ зусилля різання збігається із зусиллям закріплення, що сприяє більшій надійності закріплення пластин. У конструкції використовуються різальні пластини, що мають 3 і 4 грані, а також ромбічного типу з кутами $\epsilon = 80$ або 55° .

У другому виконанні (рис. 12.18) різець призначений для роботи з позитивним робочим переднім кутом. Конструкція різця аналогічна поданій на рис. 12.17 за винятком різальної пластинки, яка має задній кут і придатна тільки для однобічного використання. Зусилля різання при цьому зменшується.

Різці на рис. 12.17 та рис. 12.18 прості за конструкцією, надійні по формуванню стружки і можуть застосовуватися у середньому і масовому виробництві.

Схема закріплення *P*

Конструкція різця за схемою закріплення *P* з кріпленням різальної пластини прямокутного перетину, з отвором за допомогою кутового важеля (*L*-подібного вигляду). Конструкція різця показана на рис. 12.19 і служить в основному для роботи з від'ємним переднім кутом γ .

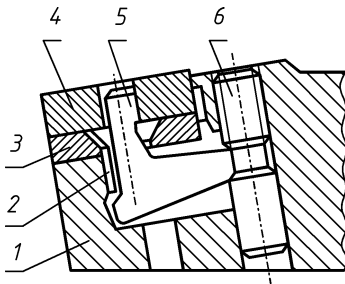


Рис. 12.19. Різця типу *P*

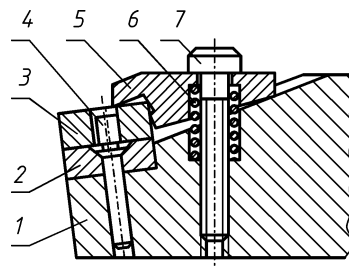


Рис. 12.20. Різець типу *M*

У різця на рис. 12.19 у глухому пазі державки 1 розташовуються опорна пластина 2 з розрізною втулкою 3 і різальна пластина 4. Кріплення різальної пластини здійснюється за допомогою кутового важеля 5 спеціальної форми. На одне плече важеля передається зусилля від диференціального гвинта 6. Іншим плечем важіль входить в отвір різальної пластини і притискає її до нерухомого упору уступу корпусу різця.

Регулювання форми стружки, в даній конструкції, виконується підбором різальних пластин з найбільш сприятливою, для заданих технологічних умов, формою канавки. Для звільнення різальної пластинки, при її повороті або зміні, досить невеликого повороту кріпильного гвинта.

При від'ємному передньому куті γ – зусилля різання збігається за напрямком із зусиллям закріплення, що сприяє підвищенню надійності закріплення. При використанні різця з від'ємним переднім кутом можливо двостороннє застосування різальної пластини.

Незважаючи на збільшену складність різця за рахунок державки і кутового важеля, конструкція набула широкого поширення у середньому і великосерійному виробництві, як у вітчизняному, так і в закордонному ("Krupp Vidia", "Sandvik Coromant"), що пояснюється її загальною стабільністю в роботі, відсутністю експлуатаційних перешкод через складності форми, швидкою зміною різальної крайки.

Масове виготовлення таких різців на Харківському інструментальному заводі сприяло підвищенню точності й економічності їх виготовлення, а також розширенню застосування у виробництві. Компактність конструкції сприяє використанню різців у автоматизованих виробництвах у вигляді різцевих блоків.

Схема закріплення М

Конструкція різця із закріпленням різальної пластини по двом її поверхням за схемою М. Конструкція різця показана на рис. 12.20. У наскрізному пазу державки різця 1 встановлені під від'ємним кутом опорна пластинка 2 і різальна пластина 3. Опорна пластина закріплюється запресованим у державку штифтом 4, головка якого служить нерухомим упором для різальної пластини. Кріплення пластини по її верхній і бічній поверхнях здійснюється фасонним прихвatom 5, який має для цього два відповідних виступи.

У початковому положенні, після установки нової різальної пластини, косий зріз нижньої поверхні прихвата і аналогічний косий зріз державки повністю збігаються в безззорному контакті, а верх-

ня поверхня прихвата займає горизонтальне положення, збігаючись з нижньою поверхнею головки кріпильного гвинта. При закручуванні кріпильного гвинта опускається прихват, який спочатку входить у контакт з різальною пластиною своїм верхнім виступом, у той час як між бічним виступом прихвата і бічною поверхнею пластини є зазор. При подальшому закручуванні гвинта цей зазор зменшується до надійного упору прихвата в пластину. Прихват, залишаючись у контакті своїм верхнім виступом з пластиною, отримує певний поворот у вертикальній площині з утворенням кутового зазору в $2 \dots 3^\circ$, в площині свого контакту з державкою і з утворенням такого ж кутового зазору між верхньою поверхнею прихвата і головкою кріпильного гвинта. Саме це кінцеве положення і показано на рис. 12.20.

Для кращого базування різальної пластини клин-прихват переміщується в пазу, що забезпечує більш високу точність положення вершини різця.

У зв'язку зі складним робочим призначенням, закріпленням пластини по двом її поверхням - конструкція різця має збільшену складність. Формування стружки в різці здійснюється за рахунок профілю канавок пластини.

Для повороту і зміни різальної пластини необхідно вивернути кріпильний гвинт на висоту пластини з відповідною витратою часу. Конструкція різця призначена для роботи на універсальних верстаках з ручним керуванням.

Схема закріплення S

На рис. 12.21 подана конструкція різця з гвинтовим закріпленням різальної пластини за схемою S. Різець складається з державки 1, опорної пластини 3, перехідної різьбової втулки 4 для закріплення опорної пластини, різальної пластини 5 з заднім кутом $\alpha_{пл} = 7^\circ$ врізаної в державку з нульовим переднім кутом, і кріпильного гвинта 2.

Головною особливістю конструкції є кріпильний гвинт з конічною головкою, а також різальна пластина з конічним (тороїдним) отвором. Таке конструктив-

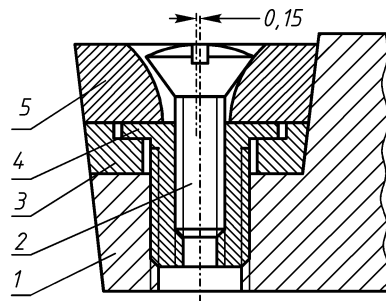


Рис. 12.21. Різець за схемою закріплення S

не рішення призвело до гранично малої кількості деталей різця, його компактності й малих габаритів. Ось нарізного отвору кріпильного гвинта зміщена в бік нерухомого упору у вигляді стінок паза державки на відстань близько 0,15 мм. Внаслідок цього, при закручуванні гвинта різальна пластинка переміщається до нерухомого упору, притискається до нього і до основи паза державки.

Різець призначений, головним чином, для розточування отворів діаметром 12...40 мм. При малих діаметрах отворів опорна пластинка може бути відсутня, хоча вона захищає державку різця при руйнуванні різальної пластини. Відведення і формування стружки в різці здійснюється вибором оптимальної форми канавок з урахуванням умов обробки. Пластини з плоскою передньою поверхнею без канавок застосовуються для обробки чавуну й інших аналогічних матеріалів, котрі утворюють стружку надломом.

Конструкція може використовувати всі форми пластин. Різець призначений, головним чином, для роботи з додатним переднім кутом.

Незважаючи на простоту і компактність конструкції, вона має ряд обмежень у своєму застосуванні. Так, зусилля закріплення, створюване кріпильним гвинтом обмеженого діаметра, притискає різальну пластину до паза державки; у той же час, значно більше за величиною зусилля різання P_z при додатньому куті γ пластинки, намагається відсунути пластинку від паза державки, що послаблює надійність закріплення пластинки. Конструкцію слід розцінювати як більш придатну для невеликих зусиль різання.

Різець має збільшену втрату часу при повороті або зміні різальної пластинки. Якщо в першому випадку необхідно вивернути кріпильний гвинт на висоту пластинки, то в другому випадку кріпильний гвинт повинен бути вивернутий повністю. Різьба гвинта і втулки (або державки різця) має при цьому збільшений знос. Слід враховувати і спеціальну форму отвору.

12.4 Закордонні різці

Починаючи з 1980 р, як у вітчизняній, так і в закордонній практиці увійшли у виробництво нові, більш прогресивні форми різальних пластин, які мають на поверхні стружкових канавок окремі виступи. Стружка замість заповнення профілю канавки спирається тільки на ці виступи з точковим контактом, завдяки чому, тепло, що міститься в стружці й передається різальній пластині, значно зменшується, а

стійкість пластини зростає. Це сприяє кращому подрібненню стружки. Схема розташування та форми виступів на поверхні пластин перевіряються експериментально і дуже різноманітні.

Різці типу T-MAX

Клин-прихват

Конструкція різця T-MAX P з закріпленням різальної пластини по двом поверхням за допомогою клин-прихвата.

Рішення технологічної задачі закріплення різальної пластини по двом її поверхням (верхній і бічний) – представлено фірмою “Sandvik Coromant” (рис. 12.22).

У корпусі різця 1 запресований штифт 2, утримуваний у певному положенні поперечним стопорним гвинтом 3. Штифт закріплює на місці опорну пластину 4, а його головка служить нерухомим упором для різальної пластини 5. Клин-прихват 6, переміщуючись під дією кріпильного гвинта 7 по плоскому конусному вирізу корпуса різця, своїм вертикальним виступом притискає пластину зверху, а своїм бічним виступом притискає бічну грань пластини до нерухомого упору головки штифта. Контакт прихвата з бічною гранню пластинки відбувається по лінії.

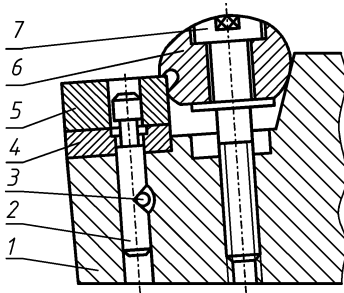


Рис. 12.22. Різець T-MAX P з закріпленням клин-прихватом

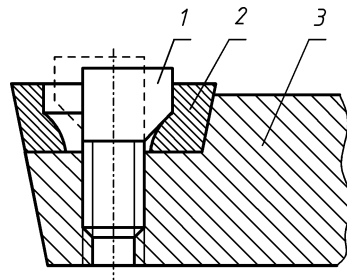


Рис. 12.23. Різець T-MAX U-LOCK з гвинтовим закріпленням

За принципом дії, для досягнення двостороннього контакту прихвата з пластиною, конструкція повинна передбачати можливість деякого повороту прихвата у вертикальній площині. Для цього плоский зріз правої частини прихвата замінено на радіусний, як і показано на рис. 12.22.

Різець використовується з 3 і 4-гранними пластинами з контактом клин-прихвата і пластини по одній з її бічних сторін. Різальна

пластина (як і опорна) має прямокутний перетин без заднього кута.

Різальна пластина посаджена своїм отвором на штифт, а клин-прихват не може бути повернений для її звільнення. Тому єдиним способом для зміни або повороту пластини є викручування кріпильного гвинта на висоту пластини. Отримана при цьому втрата часу є істотним недоліком конструкцій.

Клинова накладка

Конструкція різця T-MAX P з закріпленням різальної пластини клинковою накладкою збігається з вітчизняної, показаної раніше на рис. 12.10, яка з 1960 р. і до теперішнього часу продовжує залишатися однією з діючих конструкцій для серійного виробництва. Конструкція різця T-MAX P рекомендована фірмою для застосування з 3-гранними різальними пластинами (з кутом $\epsilon = 60^\circ$) при наскрізному виконанні паза під пластинки та з 4-гранними пластинами при глухому виконанні. Поверхня прихвата, що контактує з різальною пластиною, має опуклу форму, що контактує з пластиною по лінії. Конструкція більшою мірою придатна для чистової обробки при зовнішньому і внутрішньому точінні.

Різці типу T-MAX U

Конструкція різця T-MAX U з гвинтовим закріпленням різальної пластини. Конструкція докладно описана і показана на рис. 12.21. У конструкції застосовують всі форми пластин при задньому куті $\alpha_{\text{пл}} = 7^\circ$. Загалом використовують різальні пластини з додатним переднім кутом γ . Для обробки чавуну та інших подібних матеріалів застосовують плоскі пластинки без канавок. Пластинки врізані у корпус різця під кутом $\gamma = 0^\circ$.

У різці такого типу в якості основної деталі застосовується кріпильний гвинт з конусною головкою, а також різальна пластина з конусним (тороїдним) отвором. Для уникнення значної втрати часу при повороті й зміні різальної пластини, фірмою "Sandvik Corofint" передбачена можливість установки іншого кріпильного гвинта 1 типу U-LOCK, що має додаткову ексцентричну циліндричну частину головки (рис. 12.23). Ця частина головки розташовується в додатковій циліндричній виточці різальної пластини 2 і дозволяє при певному положенні кріпильного гвинта безперешкодно повернути або зняти пластину. Паз під пластинки виконується глухим.

Різець T-MAX ULOCK має компактну конструкцію (мала кількість складових деталей), відсутність будь-яких перешкод для сходу стружки, малі габарити, зручний при розточування.

Різці типу T-MAX S

Конструкція різця T-MAX S з закріпленням різальної пластини Г-подібним прихватом подана на рис. 12.24. Різець складається з корпусу 1, опорної пластини 3 з розрізною кріпильною втулкою 2, різальної пластини 4 без отвору, Г-подібного прихвата 5, кріпильного гвинта 6 і «пружинного кільцевого замка» 7, призначеного для автоматичного прискореного підняття прихвата при повороті або зніманні різальної пластини.

У різці застосовують пластинки 3 і 4-гранної форми. Допускається застосування різальних пластин з плоскою передньою поверхнею без канавок, але при використанні додаткових пластин-стружколомів. Можуть використовуватися також різальні пластини з виступом на передній поверхні, які здатні впливати на формування стружки.

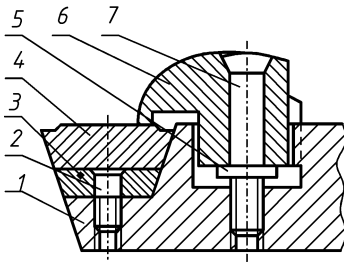


Рис. 12.24. Різець T-MAX S з Г-подібним прихватом

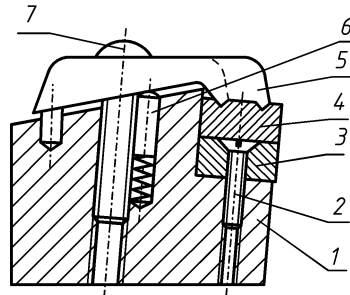


Рис. 12.25. Різець T-MAX для точіння по копіру

Різці призначені для напівчистої і чистої обробки з різним навантаженням на різець.

Різці T-MAX для точіння по копіру

Конструкція різця T-MAX для точіння по копіру з закріпленням різальної пластинки прихватом. Різець (рис. 12.25) складається з корпусу 1, опорної пластини з отвором 3, розрізної кріпильної втулки 2, різальної пластини 4, Г-подібного прихвата 5, підпружиненого штифтом 6 для підйому прихвата при вивертанні кріпильного гвинта 7. Різальна пластина має форму паралелограма прямокутного перетину з кутом при вершині $\epsilon = 55^\circ$ і прямі шліфовані канавки.

Паз під пластини глухий. Застосування різця, у тому числі і для роботи на верстатах з ЧПК, доцільне для всіх операцій зовнішнього

і внутрішнього точіння. Конструкція різця досить складна, головним чином внаслідок складної форми прихвата.

12.5 Відрізни та канавкові різці

Відрізка заготовок на токарних верстатах вважається однією з найбільш трудомістких операцій металообробки. Неприятливі умови формування й відведення стружки, недостатня міцність різальної частини різця створюють перешкоди для застосування підвищених режимів різання. Зі збільшенням діаметра відрізуваних заготовок трудомісткість значно зростає, а якість і точність відрізки різко знижуються. Низька стійкість відрізних різців обумовлена малими допоміжними задніми кутами ($1 \dots 2^\circ$). Зазначені недоліки зумовлюють необхідність правильного підходу до вибору конструкції і розмірів відрізних різців для конкретних умов обробки.

Застосовувані в промисловості відрізни і канавкові різці поділяють на три групи:

- цільні різці з напаяними різальними пластинами;
- збірні конструкції з напаяними вставками;
- і різці з механічним кріпленням різальних пластин.

Стандартна конструкція відрізних різців з припаяними пластинами з твердого сплаву не забезпечує стабільності в роботі через часті поломки робочої частини, відпаювання пластини або її сколювання на куточках. Для збільшення міцності висоту робочої частини різця роблять більше висоти корпусу (рис. 12.26,а). Відпаювання пластин можна уникнути, якщо застосовувати пластину з V-подібною опорою (рис. 12.26,б), а сколи по кутках усувають заточуванням фасок на перехідних різальних кромках з від'ємним переднім кутом (рис. 12.26,в). Також застосовують відрізни різці з симетричною ламаною різальною кромкою (рис. 12.26,г). Таке виготовлення різальної кромки різця полегшує його врізання у заготовку і покращує умови дроблення стружки.

Застосовувані на важких верстатах твердосплавні різці мають великі габарити і масу до 60 кг. Різці складеної конструкції з припаяною пластиною з твердого сплаву створюють великі незручності, як при їх виготовленні, так і при експлуатації. Недоліки різців складеної конструкції можна усунути за рахунок застосування збірної конструкції (рис. 12.27).

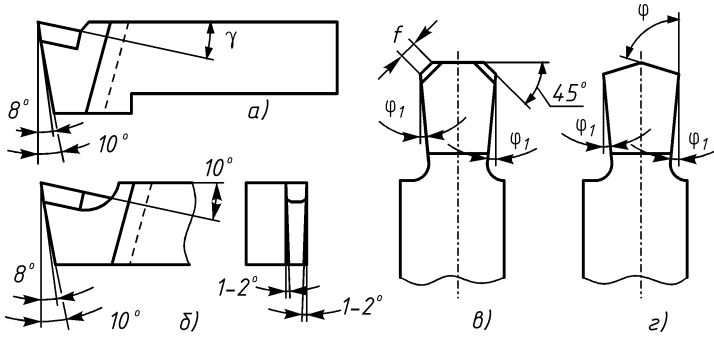


Рис. 12.26. Відрізні різці

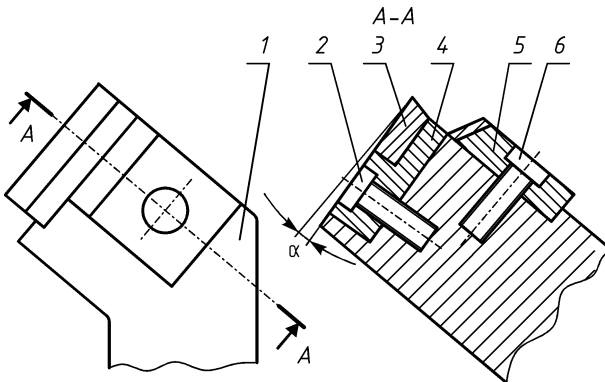


Рис. 12.27. Різець для важких верстатів

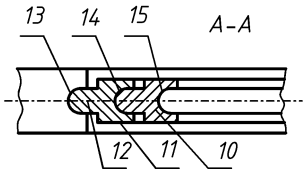


Рис. 12.28. Відрізний різець з підвищеною вібростійкістю

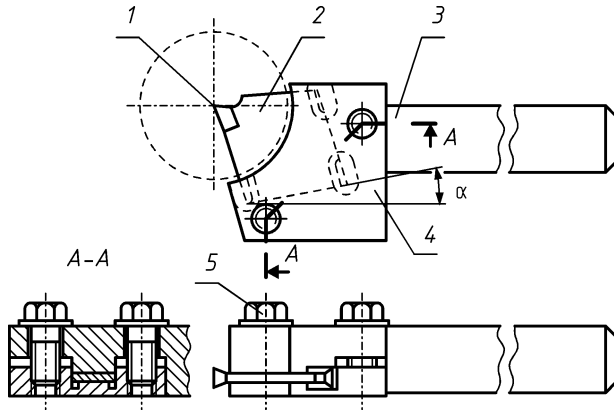


Рис. 12.29. Відрізний збірний різець

Для відрізки заготовок, діаметр яких залежить від розмірів різальної вставки, використовують збірний відрізний різець (рис. 12.29).

Конструкція різця складається з державки 3, різальної вставки 2, притискної планки 4 і двох гвинтів 5 та різальної вставки 1. Різець має підвищену жорсткість і може працювати зі збільшеними подачами і швидкостями різання у порівнянні зі звичайними відрізними різцями.

На рис. 12.30. представлена конструкція збірного відрізного різця з швидкозмінною різальною пластиною. Відрізний різець складається з державки 1, опорної пластини 2, встановленої у корпусі на трьох регульованих у вертикальній площині опорах 3, 7 і 8.

Збірний канавковий різець (рис. 12.31) призначений для прорізання канавок в упор до торця (уступу) оброблюваної деталі. Основні деталі різця: твердосплавна пластина 2; тяга 3; штифт 4; гвинт 5; накладна планка 6 і штифт 7. Як різальний елемент використовується твердосплавна пластина 2 з трьома різальними кромками.

Відмінною особливістю різальної пластини від тих що існують є те, що форма пластини забезпечує прорізування канавок в упор до торця деталі.

Різець з механічним кріпленням різальної пластини (рис. 12.32) призначений для нарізування різби в отворах, як на прохід, так і в упор у глухих отворах.

Сферична форма головки штифта 4 сприяє само-установці та притисканню різальної пластини до опорної пластини 3. Кут клина $1 \dots 2^\circ$ між різальною пластиною і прихватом 5 забезпечує надій-

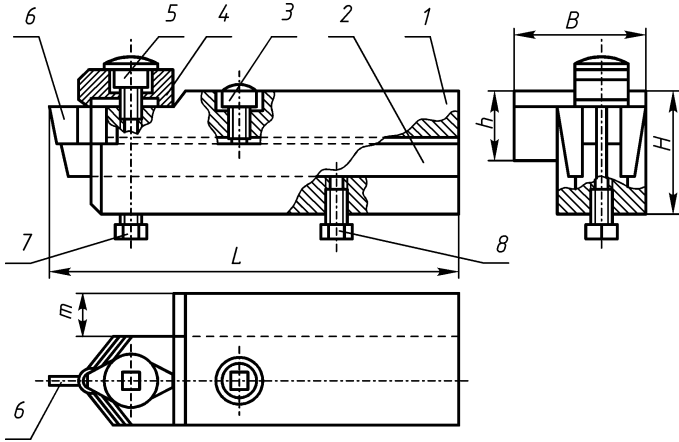


Рис. 12.30. Збірний відрізний різець

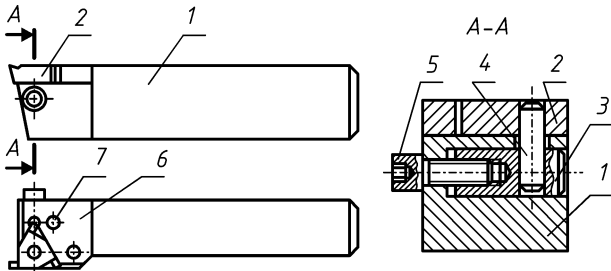


Рис. 12.31. Канавковий збірний різець

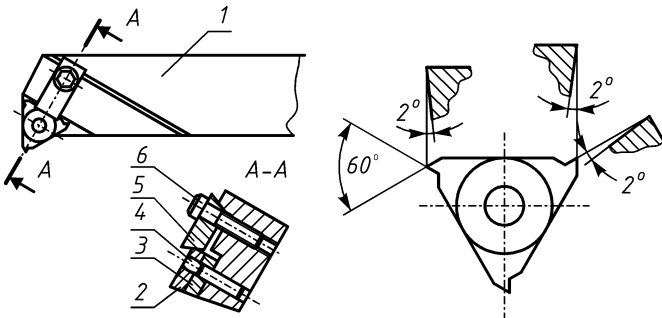


Рис. 12.32. Різьбовий збірний різець

не закріплення пластини у державці 1. Такі різці доцільно використовувати на верстатах з ЧПК або автоматичних лініях. Стійкість різців у 1,8–2 рази вище різців з напаяними пластинами.

12.6 Різці з вставками з надтвердих матеріалів

Досвід експлуатації дозволив сформулювати наступні вимоги до методу закріплення елементів з над твердих матеріалів (інструмент з НТМ) у державці інструмента. Він повинен забезпечувати міцність, жорсткість і надійність закріплення, можливість швидкого складання, розбирання, взаємозамінності інструментів, мінімальний нагрів полікристала при виготовленні різального елемента, простоту експлуатації інструмента.

Лезові інструменти з НТМ за типом кріплення різального елемента ділять на дві основні групи:

- збірні (з механічним кріпленням безпосередньо в державці інструмента, а також з механічним або нероз'ємним кріпленням у різальній вставці, що закріплюється в державці інструмента);
- Суцільні (з нероз'ємним кріпленням різальних елементів з НТМ безпосередньо в державці інструмента).

Інструменти з механічним кріпленням пластин і змінних вставок, з паяних НТМ і різальних елементів з монокристалів алмазу, мають ряд переваг у порівнянні з інструментами другої групи. До них відносяться:

- можливість швидкої зміни зношеної різальної кромки;
- багаторазове використання корпусу інструмента;
- підвищена надійність кріплення різальних елементів інструмента.

До інструментів з НТМ другої групи пред'являються менш жорсткі вимоги до виготовлення посадкових місць під заготовки полікристалів. За допомогою такого закріплення можна отримати інструмент, габаритні розміри якого менші в порівнянні з розмірами інструментів першої групи.

Різці з різальними елементами з НТМ

Найбільш поширеним видом різального інструмента, оснащеного НТМ, є різці. Вони використовуються для зовнішнього точіння, розточування і різних спеціальних операцій (прорізання канавок, різьбонарізання тощо).

Напаяні різці з НТМ (рис.12.33 можна розділити на групи за такими ознаками:

- за типом державки – прямі і відігнуті, прямокутного і круглого перетину;
- за призначенням – прохідні, прохідні упорні, підрізні, розточувальні, галтельні, канавкові.

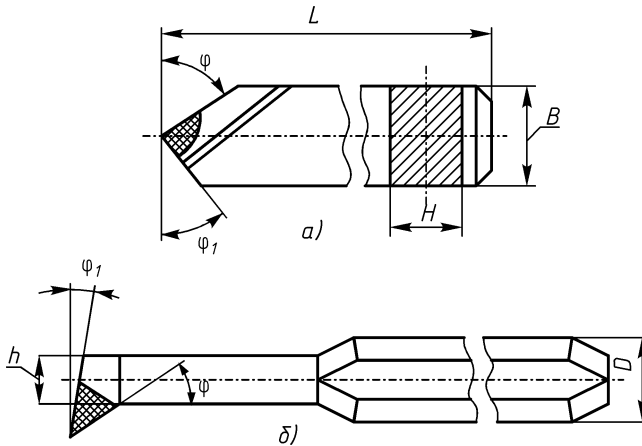


Рис. 12.33. Напаяні різці
а – прямий; б – розточний

Різці з механічним кріпленням змінних вставок з НТМ (рис. 12.34) діляться на різці з кріпленням вставок прихватом зверху (спосіб *C*) і по бічній поверхні (спосіб *D*). Змінна вставка з НТМ 2 встановлюється у державці 1 і кріпиться прихватом 3 або за допомогою гвинта 4. Прихват 3 контактує безпосередньо з державкою або через проміжну опору. Установка вильоту вставки здійснюється регульовальним гвинтом 5. Змінні вставки 2 можуть кріпитися також за допомогою цангового затиску, що закріплюється у корпусі різця.

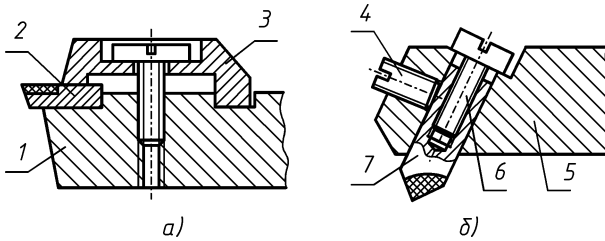


Рис. 12.34. Різці з механічним кріпленням вставок

Різці з механічним кріпленням пластин з НТМ (рис. 12.34) досить широко представлені в номенклатурі інструментальної промисловості. Найбільш поширеними є різці з кріпленням пластин прихватом зверху (рис. 12.34,а). Різець має державку 1, різальну пластину 2, прихват 3, гвинт 4 і пружину 5.

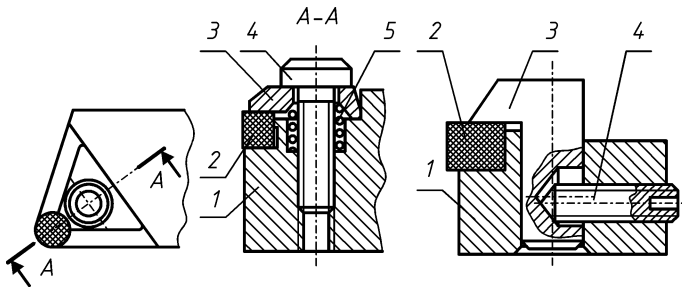


Рис. 12.35. Різці з механічним кріпленням пластин

Низка конструкцій розрізняється за схемою закріплення і базування пластини:

- клиновий прихват;
- пружний прихват з бічними пазами для установки пластин;
- Г-подібний прихват з циліндричною напрямною частиною і установкою пластини у напівзакритий паз державки;
- циліндричний прихват з пружним гвинтом і установкою пластини в напівзакритий паз;
- прихват з рифленнями для кріплення конічних різальних елементів з НТМ у відкритий паз,
- прихват-планка з установкою у відкритий паз і установкою пластини на сферичну опору, безпосередньо у державку.

Існують конструкції різців з механічним кріпленням пластин з НТМ з використанням інших способів кріплення. Способу *D* відповідає схема різця з кріпленням за бічні поверхні пластини (рис. 12.36). На державці *1* кріпиться пружна перехідна пластина *2*, у паз якої встановлюється різальна пластина *3*. Затиск пружної пластини в державці за допомогою прихвата *4* і гвинта *5* забезпечує закріплення різальної пластини.

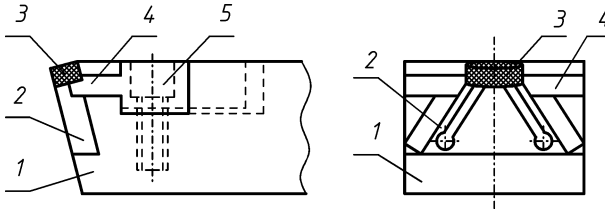


Рис. 12.36. Різець з пружним затискним елементом

Є також конструкції різців з механічним кріпленням пластин за допомогою косої тяги (спосіб *P*) через отвір у підкладці двохшарових пластин з НТМ і центрального гвинта через отвір у різальному елементі, оснащеному НТМ (спосіб *S*).

У окремих випадках, коли потрібно посилене закріплення різальних пластини у зв'язку зі значними глибинами різання і подачами використовують кілька прихватів.

Особливості експлуатації алмазного інструмента

Геометричні параметри алмазного інструмента багато в чому визначаються специфічними властивостями кристалів природного алмазу. Кристали алмазу мають яскраво виражену анізотропію і високу крихкість, однак різальні кромки інструментів повинні мати підвищену міцність. З метою зміцнення різальної кромки алмазного інструмента кут його загострення повинен бути максимально допустимим з точки зору процесу різання (не менше 90°). При меншому куті загострення отримати різальну кромку необхідної якості і достатньої міцності дуже складно.

Величина переднього кута повинна забезпечувати величину кута загострення близько 90° . Кут у плані інструмента, що працює на врізання, визначається конфігурацією оброблюваної заготовки.

Залежно від вимог, що пред'являються до оброблених поверхонь, конфігурації і розмірів заготовок, застосовують обробку на врізання або на прохід.

Особливості процесу різання алмазними лезовими інструментами визначаються фізико-механічними властивостями й структурою алмазів:

- низьким коефіцієнтом тертя по оброблюваних матеріалів та високими значеннями теплопровідності, що забезпечують порівняно низькі температури в зоні різання і дозволяють проводити обробку на високих швидкостях різання;
- малими значеннями радіусу заокруглення різальних кромek (до 0,05 мкм);
- малими силами різання в порівнянні з силами при точінні різцями з інших інструментальних матеріалів (тангенціальна сила P_z менше у 1,5...3 рази, радіальна сила P_y менша у 3...12 разів);
- високу зносостійкість, що забезпечує розмірну стійкість і тривалу роботу інструмента без підналагодок.

Менша, у порівнянні з обробкою іншими матеріалами, робота різання при алмазному точінні сприяє незначному виділенню тепла. Висока теплопровідність алмаза забезпечує малі температури в зоні різання при точінні кольорових металів.

При практично використовуваних швидкостях різання середня температура у зоні різання рідко перевищує 473...23°C. Виняток становлять титанові сплави, при точінні яких температура в об'ємі оброблюваного матеріалу досягає 973°C. Найбільший вплив на температуру надає швидкість різання.

Як зазначалося раніше, основним джерелом теплоти у разі алмазної обробки, є тертя на задній поверхні інструмента. При точінні кольорових металів низьке тепловиділення і малий нагрів заготовки та інструмента дозволяють вести обробку з максимальною точністю.

Таким чином, при алмазному точінні в заготовку надходить значно менше теплоти, ніж при точінні твердим сплавом. Це створює основу для отримання малих температурних деформацій заготовки в процесі обробки. При цьому велика частка теплоти, що відводиться в інструмент, не призводить до зниження точності обробки внаслідок малого температурного коефіцієнта лінійного розширення алмаза.

Руйнування алмазних різців відбувається за такою схемою:

- спочатку утворюються мікротріщини на різальній кромці;

- потім, в утворений дефект потрапляють мікрочастинки оброблюваного матеріалу, які накопичуючись, здійснюють розклинювальну дію і збільшують величину мікротріщин;
- це викликає ще більше накопичення мікрочастинок металу, що накопичується в різальній кромці;
- при досягненні певної величини частина цих частинок сколюється, несучи з собою мікрочастинки алмазу.

При обробці з ударом інтенсивність утворення відколів і мікротріщин на різальній кромці різця збільшується в 10 і більше разів. У цих умовах переважає викиршування різальної кромки не за рахунок адгезії, а за рахунок впливу ударного навантаження.

Наявність в оброблюваному матеріалі абразивних або інших твердих частинок збільшує інтенсивність утворення відколів на різальній кромці інструмента на 30...40% і сприяє заокругленню його різальної кромки.

При терті алмазного інструмента з такими оброблюваними металами, як залізо і сплави на його основі, на контактних ділянках може утворюватися температура вище 1426°C , особливо при високих швидкостях різання або відносного ковзання. Звідси випливає, що має місце контактне евтектичне плавлення інструментального матеріалу. Однак, взаємодія з оброблюваним матеріалом не графіт, в який переходить алмаз, а безпосередньо сам алмаз, так як швидкість його графітування при цій температурі ще дуже мала.

Таким чином, знос різального інструмента з монокристалів природного алмазу при обробці кольорових металів, їх сплавів і полімерних матеріалів обумовлюється адгезією, абразивною взаємодією, мікроруйнуванням матеріалу внаслідок динамічних навантажень, а при обробці чорних металів ще і дифузійним розчиненням і контактним евтектичним плавленням з видаленням продуктів взаємодії з робочих поверхонь. При обробці полімерних композиційних матеріалів певне значення має взаємодія вуглецю алмазу з продуктами деструкції оброблюваного матеріалу, макрорадикалів полімерних ланцюжків. Є дані про інтенсифікацію руйнування алмазу в присутності компонентів полімерних матеріалів.

Коефіцієнт тертя синтетичних полікристалічних алмазів по металах дещо вищий, ніж природних. Це пояснюється наявністю пор на поверхні полікристала, викликаних випаданням частинок кристалів, а також наявністю частинок металевої фази або сполучень. Однак величина коефіцієнта тертя синтетичних алмазів з багатьма метала-

ми менше 0,2. Це говорить про превалювання в контактній взаємодії зовнішнього тертя, що є особливістю контактних процесів синтетичних алмазів з більшістю металів. Так само, як і для природного алмазу, виняток становлять титан, цирконій та інші матеріали, у контакті з якими поверхня різального елемента покривається міцною плівкою, що повністю виключає зовнішнє тертя і призводить до внутрішнього.

Стійкість алмазного інструмента при лезовій обробці мідних, алюмінієвих сплавів та інших кольорових металів становить сотні годин. Це дозволяє використовувати інструмент з полікристалічних алмазів на операціях, де потрібна велика розмірна стійкість, тобто на верстатах з ЧПК, у гнучких виробничих системах, у масовому виробництві, наприклад, деталей двигунів внутрішнього згоряння.

Інструмент з робочою частиною з полікристалів синтетичних алмазів має свої особливості, що відрізняють його від інструмента з природного алмазу. Зносостійкість різців, оснащених НТМ на основі синтетичних алмазів, значно перевищує зносостійкість інструмента з природних алмазів. Експериментально доведено, що при обробці силумінів середня стійкість полікристалічного різця в 3 рази вище середньої стійкості монокристалічного алмазного різця.

Переваги інструмента з різальною частиною з полікристалічного алмазу проявляються внаслідок довільної орієнтації кристалів у алмазному шарі пластин, що забезпечує високу однорідність твердості і стійкості до стирання у всіх напрямках. Монокристал алмазу, як зазначалося раніше, має кілька твердих і м'яких кристалографічних площин і для досягнення мінімального зносу різальної кромки інструмента з природного алмазу необхідно забезпечити правильну кристалографічну орієнтацію монокристала алмазу у інструменті.

Іншою перевагою НТМ є підвищена стійкість до ударних навантажень. Взаємне скріплення дрібних кристалів алмазу в полікристалічному шарі зводить до мінімуму можливість утворення великих сколів під дією ударних навантажень. Крім того, міцна твердосплавна основа служить опорою для алмазного шару і сприяє збільшенню міцності на удар.

Різці з НТМ не забезпечують такої низької шорсткості, як різці з природних алмазів. Полікристалічна будова не дозволяє отримати рівну різальну кромку у різця, так як під час заточування окремі блоки кристалів руйнувались, залишаючи на кромці сколи, нерівності. Чим більш великозернистий полікристал, тим більш шорсткою буде різальна кромка різця. При використанні полікристалів алмазу

з дрібнозернистою будовою і доведенням інструмента можна наблизитися до результатів, одержуваних при обробці лезвійним інструментом з природного алмазу. У загальному випадку, при використанні різців із синтетичних алмазів, при обробці металів і сплавів, висота мікронерівностей обробленої поверхні приблизно в 1,5–2,5 рази вище, ніж при застосуванні різців з природних алмазів за однакових умов різання.

Алмазні інструменти розроблені для тривалого використання переважно на верстатах з ЧПК з метою їх максимальної завантаженості. Для успішного використання алмазних інструментів необхідні потужні стаціонарні верстати з точним рухом інструментальних шпинделів у площині без торцевого биття, що забезпечують оптимальну швидкість різання. Крім того, слід забезпечити мінімальний допуск посадкового місця для установки інструмента. Верстати повинні мати механічну подачу.

Інструмент на основі нітриду бору

Оптимальні геометричні параметри інструмента, оснащеного НТМ на основі кубічного нітриду бору BN визначаються умовами різання і властивостями оброблюваного матеріалу. При цьому потрібно зазначити, що, як і для інструмента на основі алмазних НТМ, вибір геометричних параметрів паяного інструмента відрізняється від вибору геометрії інструмента, оснащеного різальними пластинами. Якщо в першому випадку, шляхом заточування, можливе завдання практично будь-якого поєднання геометричних параметрів різальної частини інструмента, то в другому випадку є обмеження, пов'язане з тим, що основні форми, розміри і геометричні параметри різальних елементів регламентуються міжнародним стандартом ISO 1832-85. Тоді додатковим резервом стає створення різних кутів елементів державки, на які встановлюється різальна пластина.

У першу чергу, геометрія інструмента з різальною частиною з НТМ повинна забезпечувати міцність вершини й різальних кромок різця. Для цього в більшості випадків передньому куту інструмента надається від'ємне значення, як при обробці сталей, так і при обробці чавунів. У деяких випадках при точінні чавунних заготовок, в'язких матеріалів, наприклад Ni-сплавів, використовують різці з нульовим переднім кутом, що пов'язано з виникненням вібрацій при різанні інструментом з від'ємним переднім кутом. Для збільшення міцності вершини різця у більшості випадків призначають кути в плані 45° і 20° .

Величина заднього кута інструмента, оснащеного НТМ на основі щільних модифікацій нітриду бору, має значний вплив на його працездатність. Так, при точінні загартованих інструментальних і швидкорізальних сталей збільшення заднього кута від $4...6^\circ$ до $20...25^\circ$ підвищує стійкість інструмента в 2-3 рази. Однак надмірне збільшення заднього кута послаблює різальну кромку. Тому при великому задньому куті необхідно зменшувати передній кут.

Кут нахилу головної різальної кромки при обробці без удару приймають рівним $3...6^\circ$. При обробці з ударом кут зменшують для забезпечення міцності.

Геометричні параметри інструмента залежать від форми оброблюваної заготовки, тобто від технологічної операції, для якої він призначений. Вибираючи геометричні параметри інструмента, слід пам'ятати, що при використанні непереточуваних різальних пластин зміна переднього і заднього кутів інструмента відбувається одночасно, за рахунок відповідного перевстановлення пластини в державці.

Поєднання високих фізико-механічних властивостей і хімічних характеристик НТМ, на основі кубічного нітриду бору, обумовлює значно менші значення сил різання, ніж при обробці інструментами із швидкорізальних сталей і твердих сплавів. Це знаходиться у відповідності зі зниженням коефіцієнта тертя і зростанням температури в зоні різання, при якій послаблюється міцність оброблюваного матеріалу і знижується робота пластичної деформації.

Зниження поздовжньої усадки стружки до величини, близької до одиниці, є результатом впливу теплового фактора. При цьому, чим нижче теплопровідність інструментального матеріалу і вище коефіцієнт тертя на робочих поверхнях інструмента, тим інтенсивніше знижується усадка стружки.

Швидкості різання, при яких працюють лезові інструменти виготовленого з ПНТМ, викликають значне теплоутворення у зоні різання, особливо при обробці матеріалів високої твердості. Низький коефіцієнт тертя і висока теплопровідність ПНТМ забезпечують швидке відведення теплоти від ріжучої кромки в тіло інструмента. Температурний градієнт у полікристала, на основі кубічного нітриду бору, при точінні загартованих сталей менш 473 К/мм , у той час як у інструменті з твердих сплавів 503 К/мм , а у мінералокераміки становить майже 523 К/мм .

Обробка сталей різцями з НТМ на основі кубічного нітриду бору супроводжується більш значним виділенням тепла, ніж обробка чавунів, хоча загальний характер впливу режимів різання на темпе-

ратуру в зоні різання не змінюється, причому ступінь впливу подачі більше, ніж глибини різання.

Специфічні фізико-механічні властивості матеріалів на основі кубічного нітриду бору, обумовлюють можливість досягнення високої якості обробленої поверхні на фінішних операціях механічної обробки. За показниками економічності, продуктивності, якості обробленої поверхні операції точіння інструментом з НТМ конкурують, а часто і перевершують процес шліфування. Шорсткість обробленої поверхні мала, практично повністю відсутня її шаржування. Застосування різців з НТМ формує у поверхневому шарі залишкові напруження, які сприятливо позначаються на подальшій експлуатації виробу. Обробка практично не викликає структурно-фазових перетворень у поверхневому шарі заготовки.

Знос різального інструмента являє собою складне термодинамічне явище, яке визначається одночасно кількома механізмами – абразивним, адгезійним, втомним, дифузійним, хімічним. Різні механізми проявляються в залежності від природи матеріалів, що контактують і умов контактування, обумовлюючи в більшості випадків екстремальний характер залежності <стійкість інструмента> – <швидкість різання>.

У результаті механічного і адгезійного руйнування з полікристалів на основі cBN вириваються окремі частинки матеріалу, які сприяють інтенсифікації абразивної взаємодії на контактних ділянках інструмента за рахунок самозношування. Необхідно відзначити, що величина зносу інструментів з різальною частиною з НТМ на основі кубічного нітриду бору, при обробці не термооброблених сталей обумовлена не особливостями матеріалів, а способом виготовлення і властивостями конкретного НТМ.

Хімічні процеси в зоні різання грають важливу роль у зносі полікристалів на основі кубічного нітриду бору. Відзначається можливість взаємодії інструментального матеріалу з оброблюваним і елементами навколишнього середовища. При обробці металів, що містять Fe, Cr, Ti інструментами, оснащеними полікристалами на основі щільних модифікацій нітриду бору, у зоні контакту відбувається перенесення оброблюваного матеріалу на поверхню полікристала. Одночасно відбуваються хімічні реакції з утворенням нітрідів, боридів, оксидів і більш складних з'єднань.

Процес різання супроводжується утворенням на контактних поверхнях інструмента тонкого рідкого шару із з'єднань, що мають температуру плавлення нижчу, ніж оброблюваний і інструменталь-

ний матеріали. У результаті цього контакт інструмента зі стружкою і оброблюваним виробом відбувається через шар рідкої фази, тобто в зоні контакту реалізується механізм контактної-реактивного плавлення.

З ростом швидкості різання збільшується контактна температура, наслідком чого є переважання знеміцнення оброблюваного матеріалу, зниження абразивного і адгезійного руйнування інструментального матеріалу, а також зростання інтенсивності хімічної взаємодії і товщини шару рідкої фази. На контактних ділянках інструмента збільшується роль рідинного тертя. При досягненні певної товщини шару рідкої фази, що відповідає стану системи тертя, коли інтенсивність абразивного і адгезійного зносу значно знизилася, а інтенсивність хімічної взаємодії ще не грає основної ролі у зносі, реалізується максимальна працездатність інструмента. На контактних поверхнях інструмента є ділянки зі слідами впливу оброблюваного матеріалу і зони вторинних структур, які є наслідком окислення матеріалу інструмента та хімічної взаємодії в зоні різання.

Інструментальної промисловістю випускаються різці збірної конструкції, оснащені вставками з кубічним нітридом бору або гексанітом-Р. А саме (рис. 12.37) – прохідні, підрізні, розточувальні, різьбові та фасонні різці.

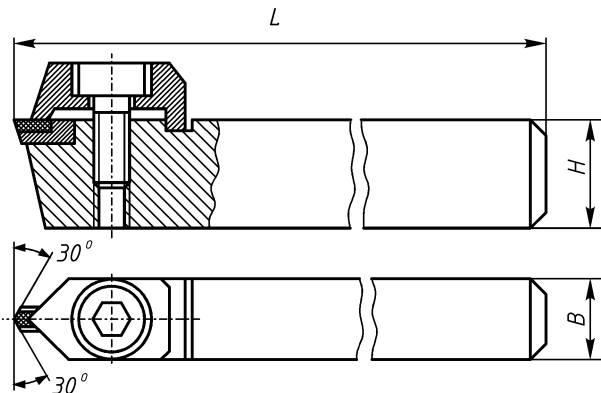


Рис. 12.37. Різець з кубічним нітридом бору

12.7 Ротаційні різці

Основне призначення ротаційного різання металів – збільшити стійкість різального інструмента і на цій основі підвищити режими

різання, і скоротити час обробки. Це особливо важливо при роботі на автоматизованих верстатах, а також при обробці важкооброблюваних сталей і сплавів. Підвищення стійкості інструмента досягається застосуванням рухомої різальної кромки за відповідною схемою різання.

Особливість різання інструментів з рухомою різальною кромкою полягає в наявності, крім головного руху і руху подачі, додаткового переміщення кромки. Це переміщення викликає зміну величини і напрямку вектора швидкості різання, що дозволяє домогтися зменшення кінематичного кута, підвищити різальну здатність інструмента при знятті тонких стружок і чистової обробки.

Конструктивно завдання безперервного поновлення різальної кромки вирішується при використанні тіла обертання в якості різального елемента – чашкового різця, що має замкнуте різальне лезо у вигляді кола. Безперервне додаткове переміщення досягається обертанням чашкового різця навколо власної осі, що може бути здійснено: примусово від спеціального приводу і вільно під дією сил тертя, що виникають у місцях контакту робочих поверхонь різця з оброблюваним металом (для самообертання необхідний нахил осі різця).

Для самообертання різця швидкість його обертання можна підвищити лише при збільшенні кута нахилу площини різальної кромки відносно осі заготовки, що накладає обмеження на допустиму глибину різання. При такій конструкції вісь чашкового різця повинна бути нахилена по відношенню до осі оброблюваної заготовки під певними кутами як у вертикальній, так і в горизонтальній площинах.

При ротаційному різанні круглі різці, обточують оброблюваний метал майже без проковзання, підрізають шар металу у напрямку подачі, відокремлюючи його від основного металу у вигляді цілісного шару. Для ротаційного процесу різання характерна заміна тертя ковзання у контактній зоні тертям кочення.

При відповідній установці різальної частини інструмента відносно оброблюваної поверхні забезпечується її стійке обертання внаслідок взаємодії з оброблюваною поверхнею.

Схеми ротаційного точіння

Розроблено ряд схем ротаційного різання, що розрізняються орієнтацією осі обертання і площини різальної кромки відносно вектора швидкості головного руху. Розрізняють дві геометричні схеми ротаційного різання, що відрізняються функціями, які виконують торець

і бокова поверхня різальної чашки. За першою геометричною схемою торець чашки виконує функції передньої поверхні, а бічна частина – відповідно задньої поверхні леза інструмента. При протилежному виконанні функцій торцем і бічною поверхнею чашки має місце друга геометрична схема ротаційного різання. При різних схемах різання ротаційний інструмент певним чином встановлюється відносно оброблюваної поверхні. У загальному випадку вісь різця має два кути нахилу відносно координатних осей верстата або заготовки.

На рис. 12.38, *а, б, в* представлено варіанти установки ротаційного інструмента по першій геометричній схемі. При установці по схемі, представленої на рис. 12.38, *а* площа різальної кромки і вершина різця відповідно розташовуються на рівні осі центрів верстата. Обертання інструмента здійснюється, як правило, примусово. На практиці така схема реалізована при обробці титанових і інших важкооброблюваних сплавів з підвищеними глибинами різання. Нахил осі різця відносно прямої подачі на кут забезпечує його самообертання при обробці.

Залежно від напрямку повороту розрізняють пряму і зворотну схеми установки ротаційного інструмента. Прийнято, що при прямій схемі поворот осі здійснюється у напрямку, що збігається з напрямком вектора подачі (рис. 12.38, *б*). Ротаційний різець, вісь якого нахилена протилежно вектору подачі, вважається встановленим по зворотній схемі (рис. 12.38, *в*).

Істотний недолік першої схеми ротаційного різання – обмеження розмірів шпиндельного вузла інструмента з діаметром різальної чашки і висотою центрів верстатів токарної групи традиційного компонування. Це ускладнює створення надійного жорсткого різцевого вузла.

Друга геометрична схема ротаційного різання (рис. 12.38, *г, д, е, ж*) відрізняється нахилом осі різця під двома кутами відносно координатних осей верстата: кутом розвороту осі різця відносно вектора подачі і кутом нахилу площини різальної кромки відносно вектора головного руху. Функції передньої поверхні інструмента виконує при цьому бокова поверхня чашки, а функції задньої – торець чашки. Вершина різця розташовується на рівні лінії центрів верстата. Частина різальної кромки знаходиться при цьому вище лінії центрів.

Як і для першої схеми ротаційного різання, для другої схеми також має місце пряма (рис. 12.38, *г*) і зворотна (рис. 12.38, *д*) схеми установки різального інструмента.

На рис. 12.38, *е* показана друга одноповоротна пряма схема уста-

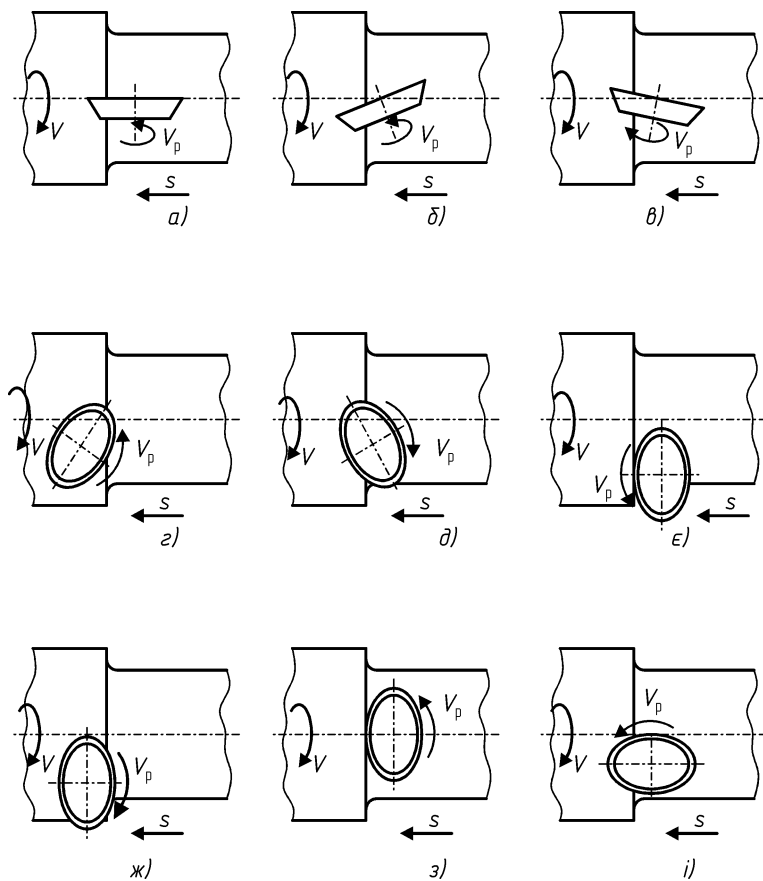


Рис. 12.38. Схеми ротаційного точіння матеріалів

новки ротаційного різця при точінні, а на рис. 12.38,ж - зворотна. За аналогією з прямою одноповоротною схемою ротаційного різання, працює інструмент за методом відшаровування (рис. 12.38,з). Вершина круглого різця при цьому розташована на рівні осі обертання заготовки, а кут розвороту осі має невеликі значення. Обробка таким інструментом застосовується частіше на обдирних операціях на жорсткому обладнанні з вертикальним і потужним приводом.

Обертання різальної частини інструмента здійснюється примусово з невеликою частотою обертання. У разі, коли вісь різця схрещується з віссю обертання заготовки під прямим кутом, а вершина різця розташована на рівні лінії центрів верстата, має місце так зване тангенціальне точіння (рис. 12.38,і). Така схема установки реалізується при примусовому обертанні різальної чашки і у чистових необертних різцях.

12.7.1 Конструкції ротаційних інструментів

Для реалізації методу ротаційного різання інструмент повинен включати наступні основні елементи: підшипниковий вузол, різальну частину, закріплену на поворотній частині підшипникового вузла, державку для установки і орієнтації інструмента.

Необхідність обертання різального елемента при ротаційній обробці передбачає наявність у конструкції інструмента підшипникового вузла, що є його основним елементом. Від якості виготовлення підшипникового вузла багато в чому залежить працездатність ротаційного інструмента в цілому. Вибір підшипникового вузла ротаційного різця залежить від виду різального інструмента, оброблюваного матеріалу, режимів обробки.

При точінні, розточуванні торцевої поверхні (при безперервному різанні) заготовок з чавуну, вуглецевих і легованих сталей, кольорових металів доцільно різець встановлювати в корпус інструмента на підшипниках кочення, а для інших видів обробки в більшості випадків краще використовувати підшипники ковзання. При важких режимах обробки, наприклад переривчастому різанні важкооброблюваних матеріалів, підшипники ковзання найбільш прийнятні, як по простоті і надійності, так і за габаритами, незважаючи на більш високий коефіцієнт тертя.

Відомо чотири основних класу підшипникових вузлів, що базуються на опорах кочення, ковзання, на комбінованих і гідростатичних опорах.

Найбільш широко представлені в конструкціях ротаційного інструмента підшипники кочення. Вони відрізняються високою точністю обертання, довговічністю, малими втратами на тертя, достатньою твердістю. додатним моментом є і нескладна регулювання зазорів у таких вузлах. Основний їх недолік – відносно великі габарити. Собівартість інструмента зростає з ростом класу точності комплектуючих підшипників.

Однак слід зауважити, що виготовлення інших деталей інструмента (шпинделя і корпусу, наприклад) можна виконати на звичайному металорізальному обладнанні в більш доступних умовах, ніж необхідні для виготовлення опор ковзання високої точності. Підшипники кочення також більш зручні з точки зору обслуговування, мастила.

Найбільш прості і надійні конструкції ротаційних різальних вузлів на радіально-упорних підшипниках (рис. 12.39, а, в). Застосовують їх на чистових і напівчистових операціях з високою швидкістю різання, при обробці переривчастих поверхонь, пластмас. Такі вузли забезпечують биття різальної кромки після заточки не більше 0,005 мм і зберігають високу точність обертання тривалий час. При збільшених перетинах зрізу доцільно виконувати передню опору на спарених підшипниках (рис. 12.39, в). Це дозволяє майже вдвічі збільшити радіальну жорсткість інструмента, а також вести обробку при значних силах різання.

При важких умовах роботи зі змінним перетином зрізу на середніх швидкостях обертання застосовують конічні роликові підшипники (рис. 12.39, д). Однак слід враховувати, що такі вузли вимагають точного вибору натягу, вони дуже чутливі до ударів у осьовому напрямку і до високих температур. додатним моментом є зниження осьового габариту вузла при використанні конічних підшипників.

Широко застосовуються підшипникові вузли на двох радіальних і двох упорних підшипниках (рис. 12.39, б, г). Вони використовуються у електромашинобудуванні, наприклад, при обточуванні роторів і статорів електричних машин тощо. Схема за рис. 12.39, г має переваги щодо жорсткості і технологічності виготовлення деталей, але необхідність надійної фіксації втулки ускладнює складання вузла.

Малі розміри та високу жорсткість мають вузли з радіальними голчастими і упорними кульковими підшипниками (рис. 12.39, е). Однак допустимі швидкості обертання таких вузлів низькі. Застосовують їх, як правило, на важких чорнових операціях.

Підшипникові вузли на опорах ковзання відрізняються компактністю, високою вібростійкістю. Однак вони менш довговічні, чутливі до

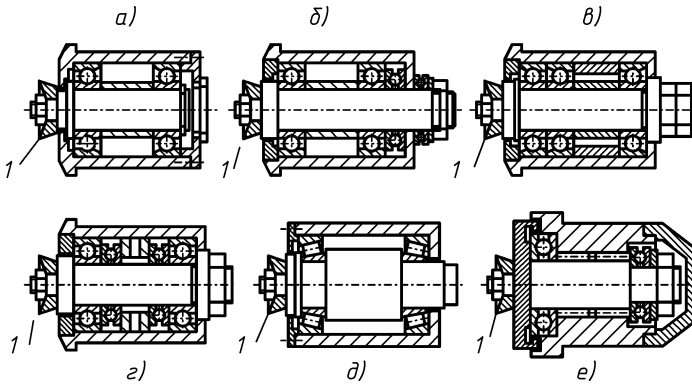


Рис. 12.39. Ротаційні різці на підшипниках кочення

високих температур, характеризуються значними втратами на тертя і вимагають точного виготовлення поверхонь ковзання. Певні труднощі представляють вибір і підведення мастила до поверхонь, що труться. Усе це і визначає їх незначне розповсюдження.

При низьких і середніх швидкостях різання ($1,0 \dots 3,0$ м/с) можуть використовуватися комбіновані підшипникові вузли. Найчастіше радіальні опори у них виконані на підшипниках ковзання, а в якості осевих упор служать упорні підшипники кочення.

Високою надійністю і низькими втратами на тертя характеризуються інструментальні вузли на гідростатичних опорах. Їх застосування може розширити технологічні можливості ротаційного інструмента.

Описані вище конструкції підшипникових опор можуть застосовуватись як у самообертальних, так і в примусово обертальних ротаційних інструментах. У останніх можуть бути використані елементи приводного механізму безпосередньо для закріплення на них різальної чашки. Елементом передачі обертання служать черв'ячні, конічні і циліндричні редуктори, клинові ремені, ланцюгові передачі, гнучкі троси. Як джерела енергії найбільш поширені окремі електричні двигуни, зустрічаються схеми з гідромоторами, пневмоприводами.

12.7.2 Різальна частина ротаційного інструмента

На обертовому елементі підшипникового вузла ротаційного інструмента закріплюється його різальна частина, виконана, як правило, у вигляді тіла обертання. Різальна частина може мати форму

циліндричного стовпчика, трубки, кільця, усіченого конуса. Зустрічаються і незвичайні форми різальних елементів: стрічка, гвинт, увінчаний або опуклий гіперболоїди тощо.

У деяких випадках різальна частина служить у якості елемента підшипникового вузла. Найбільшого поширення набула форма різальної частини у вигляді усіченого конуса, так звана чашкова, або грибкова. Така ж форма різальної частини широко використовується у необертювх інструментах та інструментах з дискретним кроковим переміщенням різального леза.

Залежно від обраної схеми ротаційного різання роль передньої поверхні виконує торець (перша схема) або бічна кінцева поверхня (друга схема) чашки.

Форма різальної частини обумовлена поєднанням видів робочих поверхонь, серед яких перевага віддана плоским, зовнішнім кінцевим і циліндричним, а також внутрішнім кінцевим поверхням. Різальна кромка має, як правило, форму кола. Для обробки крихких матеріалів запропонована різальна кромка, виконана з декількох рівних ділянок зі зростаючим у сторону, протилежну напрямку обертання, радіусом.

За способом з'єднання різальної частини з шпіндельним вузлом ротаційний інструмент підрозділяється на збірний і монолітний. Монолітний застосовують, як правило, у швидкокрізьальних інструментах. Різальна частина виготовляється разом зі шпинделем або грає роль обертового корпусу.

Найбільш широко застосовується механічне поєднання різальної частини зі шпинделем (рис. 12.40). При такому з'єднанні найбільш часто базування різальної чашки на шпинделі здійснюється по внутрішній циліндричній поверхні і торця, що забезпечує достатню жорсткість стику (рис. 12.40,а).

У ряді випадків базування чашки виконують по кінцевому отвору, причому використовують тягу з кінцевим (рис. 12.40,в) або сферичним (рис. 12.40,ж) з'єднаннями. Варіант з використанням зворотно-го конуса у чашці (рис. 12.40,д) не допускає значних зусиль різання через можливий перекося чашки. У такому випадку доцільно використовувати чашки з отвором у торці, по якому базується буртик шпинделя.

Високою жорсткістю відрізняється схема з базуванням чашки по зовнішньому конусу (рис. 12.40,б), при цьому не потрібно доведення центрального отвору і торця чашки.

Останнім часом широко застосовуються схеми з'єднання різаль-

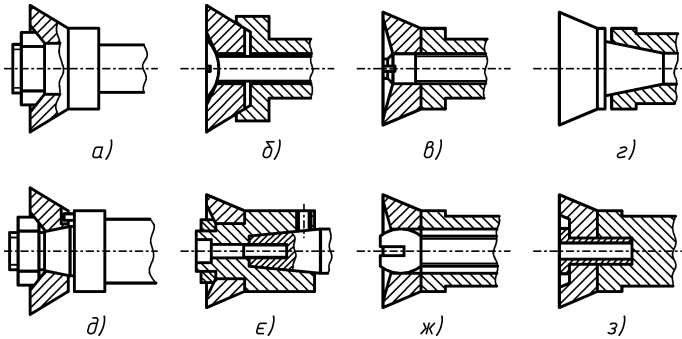


Рис. 12.40. Кріплення різальної частини

ної чашки ротаційного інструмента зі шпинделем, що забезпечують швидку заміну зношеного різального елемента і переточування його.

При цьому базування перехідного елемента виконують по внутрішньому (рис. 12.40,ж) або зовнішньому (рис. 12.40,е) конусу шпинделя верстату.

Рідше зустрічається схема з циліндричним з'єднанням різального елемента (рис. 12.40,з), оскільки для неї необхідне точне виконання отвору і торця різальної чашки.

На рис. 12.41 представлено ротаційний різець, призначений для високопродуктивної чистової та напівчистової обробки вуглецевих, легованих і жароміцних сталей і сплавів. Він виконаний у вигляді закріпленого на нерухомій осі підшипника кочення, що встановлюється в державці, на зовнішній обоймі якої виконана (або закріплена) різальна частина.

Робоча частина 7 різця має форму зовнішньої обойми, базованої внутрішніми конічними поверхнями на підшипниках кочення 8 і 9 на нерухомому валу 10, який своїм хвостовиком вставляється у отвір державки 4 і закріплюється болтом 3. Дві кругові різальні кромки 1 і 2 дозволяють двічі використовувати кожен ніж 7. Підшипники 8 і 9 - радіально-упорні, зазори (натяг) у них регулюють переміщенням внутрішньої обойми переднього підшипника уздовж осі вала 10 за допомогою гайки 5. Захисна шайба 6 призначена для захисту різця від забруднення.

Швидкість обертання різальних чашок залежить від кута нахилу різальної кромки. Для чистових і получистових режимів оптимальним є кут $\lambda = 10^\circ$, що забезпечує найменшу шорсткість при стійкому обертанні різальної чашки. Для чорнових режимів стабільне

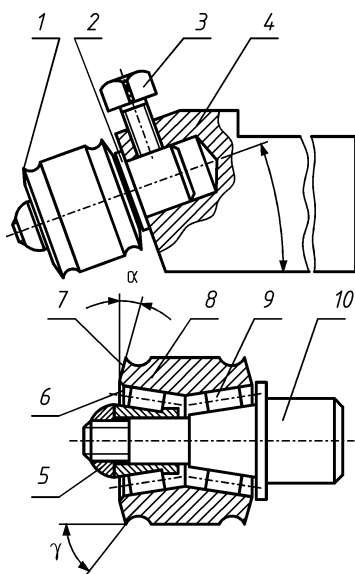


Рис. 12.41. Різець для ротаційного різання

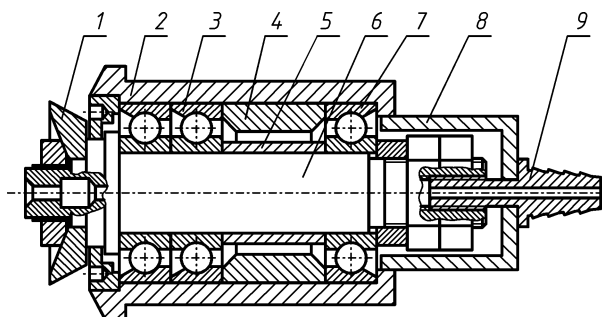


Рис. 12.42. Ротаційний різець з підведенням ЗОТС

обертання різальної чашки при глибині різання 5...7 мм досягається при $\lambda = -30^\circ$.

Зниження температури в зоні різання при роботі чашковими різцями особливо важливо для обробці титанових сплавів, дрібна стружка і пил яких самозаймається при температурі 300...600°C.

Значні труднощі в досягненні високих класів шорсткості обробленої поверхні і точності її форми виникають при обробці великобаритних тонкостінних заготовок. На зазначеній операції спільно з пневматичними вібропоглинаючими опорами застосовується ротаційний різець (рис. 12.42).

У корпусі 2 на двох радіально-упорних підшипниках 3 і 7 змонтований шпиндель 6, на якому закріплена різальна чашка 1. Між зовнішніми та внутрішніми кільцями підшипників встановлені втулки 4 та 5. Для підведення ЗОТС у зону різання у шпинделі різця виконано осьовий отвір, в якому розміщений штуцер 9, закріплений у кришці 8. У більшості випадків достатньо у якості ЗОТС використовувати повітря з цехової пневмомережі

12.8 Питання для самоконтролю

1. Назвіть та дайте визначення конструктивних елементів токарних різців.
2. Назвіть та дайте визначення геометричних параметрів токарних різців.
3. Наведіть класифікацію токарних різців та поясніть їх призначення.
4. Поясніть особливості експлуатації та галузь застосування суцільних токарних різців.
5. Поясніть особливості експлуатації та галузь застосування збірних токарних різців.
6. Поясніть особливості експлуатації та галузь застосування токарних різців оснащених різальними елементами з надтвердих матеріалів.
7. Поясніть особливості експлуатації та галузь застосування відрізних та канавкових різців.
8. Поясніть особливості експлуатації та галузь застосування ротаційних різців.
9. Покажіть схеми закріплення різальних пластин збірних різців та область їх застосування.
10. Назвіть вимоги до різців, що використовуються у автоматизованому виробництві.
11. У чому полягає різниця між правими та лівими різцями?
12. Назвіть основні вимоги до токарних різців.
13. Яку середню стійкість повинен забезпечити токарний різець?
14. Дайте характеристику різним типам різців збірної конструкції.
15. Яке призначення відрізних токарних різців?
16. Для чого токарні різці оснащують вставками із твердого сплаву різних марок?
17. Дайте стислу характеристику різцям на основі нітриду бору.
18. Як працюють ротаційні різці?
19. У чому перевага ротаційних різців над звичайними?

Частина V

**ОБРОБЛЕННЯ
ОТВОРІВ**

13 СВЕРДЛА

Свердло

Осьовий різальний інструмент призначений для утворення отвору в цільному матеріалі або збільшення діаметру отвору, що вже існує.

Осьовий різальний інструмент

Лезовий інструмент для оброблення з обертовим головним рухом різання та рухом подавання вздовж осі головного руху.

На рис. 13.1 зображено процес утворення отвору (свердлування) стандартним спіральним свердлом¹.

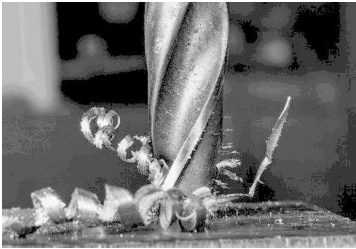


Рис. 13.1. Свердлування
[Hendyman]

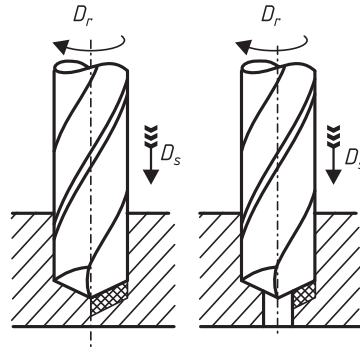


Рис. 13.2. Робота свердла

¹Спіральне свердло винайшов американець Стівен Морзе в 1861 р. У 1863 р. була подана заявка та отримано патент на конструкцію спірального свердла. Насправді спіральне свердло не має ніякої спіралі. Його стружкові канавки є фасонними гвинтовими поверхнями. Отже, спіральне свердло більш гвинтове, ніж спіральне. Але так вже склалось ...

Через те, що стандартне спіральне свердло було винайдено в Америці, довгий час його називали "американським" свердлом.

У процесі роботи (рис. 13.2) свердло здійснює два безперервні рухи відносно деталі:

- обертальний, головний рух D_r навколо осі свердла;
- поступальний, рух подачі D_s вздовж осі свердла.

Свердло є найбільш поширеним інструментом для утворення отворів. У сучасній промисловості операції утворення отворів із застосуванням свердел складають 30% від всіх операцій оброблення деталі.

Свердло може утворювати отвір, як у суцільному матеріалі, так і збільшувати отвір, що вже існує (розсвердлювати отвір).

13.1 Конструктивні елементи свердла

Спіральне свердло стандартної конструкції має наступні основні елементи зображені на рис.13.3 та рис. 13.4.

Передня поверхня

Поверхня леза інструмента, яка контактує в процесі різання із зрізуваним шаром і стружкою [ДСТУ 2249-93 с. 16].

Задня поверхня

Поверхня леза інструмента, яка контактує в процесі різання з поверхнями заготовки [ДСТУ 2249-93 с. 16].

Передні поверхні

Свердло має дві передні поверхні A_γ , що є гвинтовими поверхнями постійного кроку. Можна стверджувати, що вони утворені гвинтовим рухом різальних кромок вздовж осі свердла. По цих поверхнях сходять стружка піз час різання.

Задні поверхні

Дві задні поверхні A_α свердла мають форму яка залежить від способу заточування свердла (розділ 13.8 на с. 219). Зазвичай задня поверхня свердла є конічною або плоскою.

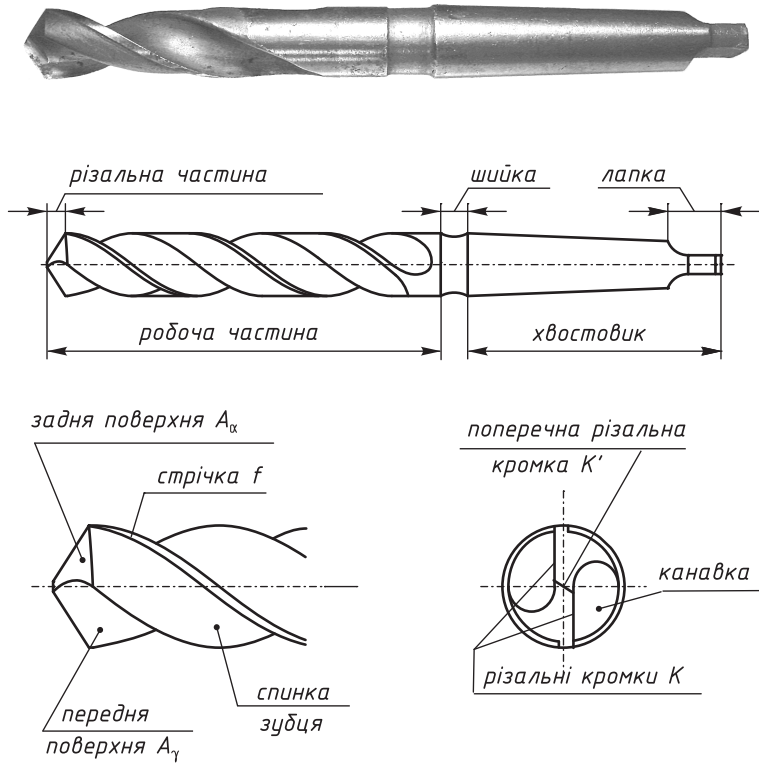


Рис. 13.3. Стандартне спіральне свердло

Різальні кромки

Дві головні різальні кромки K , утворені перетином передніх поверхонь (гвинтова поверхня A_γ канавок, по яких сходить стружка) і задніх поверхонь A_α (поверхні, звернені до поверхні різання).

Поперечна кромка

Поперечна різальна кромка K' утворена перетином двох задніх поверхонь. Її форма визначається формою задніх поверхонь, які у свою чергу залежать від способу заточування свердла. У загальному випадку поперечна кромка свердла має форму прямої або опуклої лінії.

Бокова стрічка

Стрічка свердла f – порівняно вузька ділянка на його боковій поверхні, розташована уздовж його гвинтової канавки і приймає до передньої поверхні. Вона забезпечує центрування свердла у оброблюваному отворі під час свердлування.

Спинка

Спинка зубця 1 . Це поверхня розташована безпосередньо за стрічкою на боковій циліндричній поверхні свердла. Вона має заниження відносно зовнішнього діаметру свердла, яке зроблено для того, щоб у процесі роботи свердло не контактувало із вже обробленим отвором (щоб воно не затирало по бокових поверхнях).

Неробоча частина

Неробоча частина стружкової канавки – це сторона 2 стружкової канавки протилежна передній поверхні. Ця частина інструмента не приймає безпосередньої участі в роботі свердла. Зазвичай вона має дугоподібний профіль.

Стужкова канавка

Гвинтова канавка вздовж свердла призначена для видалення стружки із зони різання. Вона має певний кут нахилу, котрий називають кутом нахилу стружкової канавки.

Поверхню стружкової канавки, за експлуатаційною ознакою, умовно поділяють на дві ділянки:

- робочу (передню A_γ), котра примикає до різальної кромки K і по якій сходиться стружка;
- та неробочу 2, вона не приймає участі в процесі різання.

Різальна частини свердла має різальну кромку K (рис. 13.4), яка утворена в результаті перетину двох фасонних поверхонь – передньої гвинтової A_γ та задньої A_α .

Свердла загального призначення мають прямолінійну різальну кромку K , хоча, в окремих випадках, різальна кромка може бути будь-якої форми (ввігнутою, опуклою, ламаною, тощо).

Бічна (зовнішня) поверхня свердла має вузьку стрічку f , призначену для центрування свердла в оброблюваному отворі. Її ширина становить 1...2 мм залежно від діаметра свердла і це саме та поверхня інструмента, котра торкається вже створеного отвору.

Безпосередньо за бічною стрічкою f розташована саме бічна (зовнішня) сторона 1 леза свердла. Зовнішня сторона 1 свердла не повинна торкатись обробленої поверхні отвору, тому вона має діаметр менший на 0,5...2 мм за діаметр стрічки f . У протилежному випадку на зовнішній стороні свердла утворюються нарости металу деталі і свердло затискає в отворі, що обробляють.

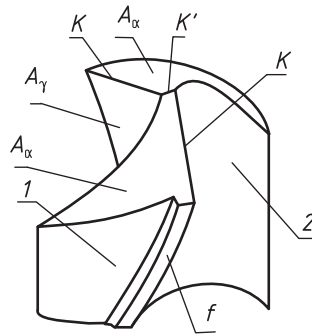


Рис. 13.4. Різальна частина свердла

Серцевина свердла

Центральну частину свердла називають серцевиною свердла (рис. 13.5). Її визначають як умовний циліндр діаметра d_o , який вписано між різальними кромками свердла.

Діаметр d_o серцевини залежить від зовнішнього діаметра D свердла і для стандартного спірального свердла може бути прийнятий як $d_o = (0,13 \dots 0,15) D$.

У загальному випадку діаметр серцевини трохи збільшується від різальної частини до хвостовика. Це роблять для зміцнення свер-

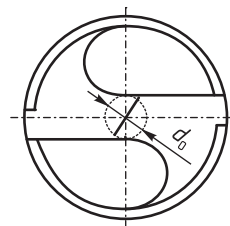


Рис. 13.5. Серцевина свердла

дла. Чим товща серцевина свердла, тим воно міцніше, але одночасно з цим збільшуються осьові складові зусилля різання.

Спіральні свердла виготовляють трьох серій довжини: свердла довгі (рис. 13.6, а), середні (рис. 13.6, б) та короткі (рис. 13.6, в).

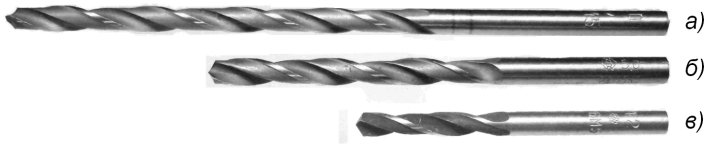


Рис. 13.6. Серії свердел:

- а) – свердла довгої серії застосовують для оброблення отворів значної глибини. Їх недоліком є мала жорсткість, через яку важко отримати не викривлений отвір;
- б) – свердла середньої довжини. Мають найбільша поширення, це так-звані свердла ринкового призначення для невідомого користувача;
- в) – свердла короткої серії, застосовують для утворення отворів незначної глибини. Мають підвищену жорсткість.

13.2 Геометричні параметри

Основні геометричні параметри (кути) стандартного свердла представлені на рис.13.7 до яких відносять:

- ω – кут нахилу стружкової канавки;
- φ – кут при вершині (кут у плані);
- ψ – кут нахилу поперечної кромки;
- γ – передній кут на головній різальній кромці;
- α – задній кут на головній різальній кромці.

Кут нахилу гвинтової канавки

Кут нахилу гвинтової канавки ω – це кут між віссю свердла і дотичною до гвинтової лінії, розташованої на зовнішньому діаметрі свердла (рис.13.7).

Для стандартних свердел діаметром 10–80 мм цей кут дорівнює 30° . Кут ω нахилу гвинтової канавки вимірюють на зовнішньому діаметрі свердла.

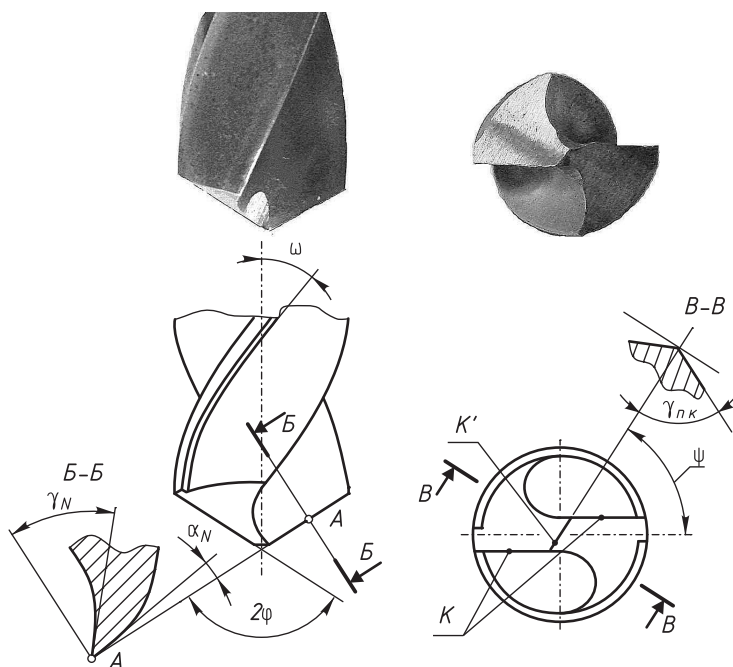


Рис. 13.7. Геометричні параметри свердла:

- α_N – передній кут свердла у площині перпендикулярній до різальної кромки;
- γ_N – задній кут свердла у площині перпендикулярній до різальної кромки;
- 2φ – кут при вершині свердла (подвійний);
- ω – кут нахилу стружкової канавки свердла на його зовнішньому діаметрі;
- ψ – кут нахилу поперечної кромки;
- $\gamma_{пк}$ – передній кут на поперечній кромці свердла;
- K – головні різальні кромки (дві);
- K' – поперечна кромка (одна).

Кут ω нахилу стружкової канавки свердла залежить від зовнішнього діаметра свердла

Діаметр свердла, мм	ω°	Діаметр свердла, мм	ω°
0,25...0,35	18	3,0...3,4	24
0,4...0,45	19	3,5...4,4	25
0,5...0,7	20	4,5...6,4	26
0,75...0,95	21	6,5...8,4	27
1,0...1,9	22	8,5...9,9	28
2,0...2,9	23	10,0...80,0	30

Кут при вершині свердла

Для свердла задають не головний кут у плані, а подвійний 2ϕ , який утворений головними різальними кромками свердла (рис.13.7). У стандартного свердла (ринкового призначення для невідомого покупця²) для свердління конструкційних сталей середньої твердості кут 2ϕ дорівнює 118° .

Кут 2ϕ при вершині свердла залежить від матеріалу деталі.

Матеріал деталі	$2\phi^\circ$
сталь σ_B до 50 кг/мм^2	115
сталь $\sigma_B = 50...70 \text{ кг/мм}^2$	116...118
сталь $\sigma_B = 70...100 \text{ кг/мм}^2$	120
сталь $\sigma_B = 100...140 \text{ кг/мм}^2$	125
сталь нержавіюча	120

Кут нахилу поперечної кромки

Кут ψ нахилу поперечної кромки K' визначає нахил поперечної кромки відносно головної різальної кромки K (рис.13.7). Його вимірюють у площині перпендикулярній до осі свердла.

Для стандартного свердла діаметром до 15 мм кут ψ дорівнює 50° . Для свердел діаметром 15...80 мм кут нахилу поперечної кромки ψ приймають рівним 55° .

Кут ψ нахилу поперечної різальної кромки приймають рівним 55° тому, що саме при такому його значенні величина осьової складової зусиль різання найменша³.

²Тобто для невідомого користувача, а відповідно і невідомих умов роботи.

³У несприятливому випадку на поперечно кромку може припадати до 60% затраченої роботи свердлення.

Передній кут

У свердла передній кут γ вимірюють у площині $O-O$ дотичній до зовнішнього діаметру свердла (рис. 13.8). Це саме та величина, яку вказують у технічній документації.

Для стандартного свердла, без спеціальних підгострювань різальної частини, величина переднього кута γ буде змінною уздовж кромки. У міру наближення до серцевини свердла передній кут γ зменшуватиметься. Це пояснюється тим, що передні поверхні спірального свердла є гвинтовою.

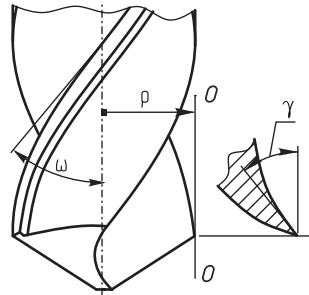


Рис. 13.8. Передній кут

Осьова площина

Передній кут в осьовому січенні $O-O$ для різних точок кромки свердла можна розрахувати за формулою:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{2\rho r}{H}$$

де H – осьовий крок гвинтової канавки свердла;
 ρ – радіус, на якому розташована контрольована точка.

У свою чергу, осьовий крок свердла можливо визначити за залежністю:

$$H = \frac{\pi D}{\operatorname{tg} \omega}$$

де D – зовнішній діаметр свердла (діаметр свердла виміряний по зовнішній стороні бічних стрічок);
 ω – кут нахилу гвинтової канавки свердла на його зовнішньому діаметрі.

Приклад 13.1 (Передній кут свердла)

Розрахувати величину переднього кута свердла для трьох точок різальної кромки.

Вихідні дані:

$D = 20$ мм зовнішній діаметр свердла;
 $\omega = 30^\circ$ кут нахилу стружкової канавки.

Рішення:

1. Осьовий крок стружкової канавки

$$H = \frac{\pi D}{\operatorname{tg} \omega} = \frac{\pi 30}{\operatorname{tg} 30^\circ} = 108,83 \text{ мм.}$$

2. Передній кут на радіусі $\rho = 3 \text{ мм}$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{2\rho}{H} = \frac{2\pi 3}{108,83} = 0,1720, \quad \text{звідки } \gamma = 9^\circ 49,6'.$$

3. Передній кут на радіусі $\rho = 7 \text{ мм}$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{2\rho}{H} = \frac{2\pi 7}{108,83} = 0,4041, \quad \text{звідки } \gamma = 22^\circ 1'.$$

4. Передній кут на радіусі $\rho = 10 \text{ мм}$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{2\rho}{H} = \frac{2\pi 10}{108,83} = 0,5773, \quad \text{звідки } \gamma = 30^\circ.$$

Ортогональна площина

Передній кут γ_N виміряний у площині перпендикулярній до різальної кромки (рис. 13.9) можливо розрахувати за залежністю:

$$\operatorname{tg} \gamma_N = \frac{\rho}{R} \cdot \frac{\operatorname{tg} \omega}{\sin \varphi}$$

де ρ – радіус, на якому розташована розрахункова точка різальної кромки;

R – зовнішній радіус свердла;

ω – кут нахилу стружкової канавки виміряний на зовнішньому діаметрі свердла;

φ – половина кута при вершині свердла.

Приклад 13.2 (Нормальний передній кут)

Для точки розташованої на радіусі $\rho = 3 \text{ мм}$ за умовами прикладу 13.1 розрахувати передній кут свердла в площині перпендикулярній до різальної кромки.

Вихідний дані:

$2\varphi = 118^\circ$ кут у плані при вершині свердла.

Рішення:

1. Передній кут γ_N

$$\operatorname{tg} \gamma_N = \frac{\rho}{R} \cdot \frac{\operatorname{tg} \omega}{\sin \varphi} = \frac{3}{10} \cdot \frac{\operatorname{tg} 30^\circ}{\sin 59^\circ} = 0,2021.$$

2. Звідки маємо $\gamma_N = 11^\circ 25' 32''$.

3. Отже, передній кут стандартного спірального свердла, що має кут у плані при вершині $2\varphi = 118^\circ$ дорівнює $\gamma_N = 11^\circ 32'$.

Величина переднього кута залежить від радіуса ρ і є змінною вздовж різальної кромки (рис. 13.9). У практичній діяльності обмежуються тільки значенням переднього кута на зовнішньому діаметрі свердла. Для стандартного свердла (діаметрів 10...80 мм) передній кут у площині $O-O$ дорівнює 30° або у площині перпендикулярній до різальної кромки $\gamma_N = 33^\circ 41'$.

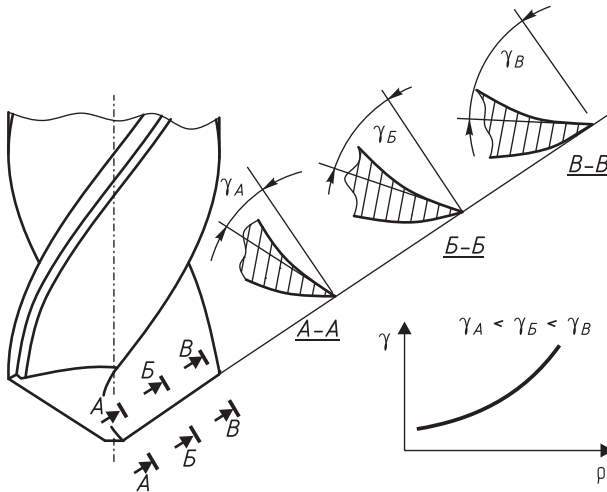


Рис. 13.9. Розподіл кутів

Задній кут

Задній кут α свердла найчастіше вимірюють у площині перпендикулярній до різальної кромки, його позначають як α_N . Характер розподілу величини заднього кута залежить від способу заточування

свердла⁴. У загальному випадку його величина змінюється уздовж кромки в межах $8 \dots 12^\circ$ для на кожному свердлі.

На практиці задній кут вимірюють у трьох точках, рівномірно розташованих уздовж кромки, а в технічній документації вказують значення для зовнішньої точки кромки та спосіб загострення.

Загальні зауваження

Геометричні параметри стандартного спірального свердла (ринкового, для невідомого користувача) такі:

- кут при вершині $2\varphi = 118^\circ$, (у загальному випадку залежить від матеріалу деталі);
- кут ω нахилу стружкової канавки⁵ дорівнює ;
- передній кут γ на периферійній частині різальної кромки дорівнює 30° ;
- задній кут⁶ α знаходиться у межах $8 \dots 12^\circ$;
- кут нахилу поперечної кромки $\psi = 50 \dots 55^\circ$.

При роботі свердла виникають похибки оброблення: можлива поява овальності отвору, конусності, викривлення осі. Їх величина залежить від розмірів отвору (діаметр і довжина), від властивостей оброблюваного матеріалу і режимів оброблення. Похибка утвореного отвору знаходиться в межах $12 \dots 14$ квалітету.

13.3 Покращення свердла

З метою покращення процесу стружкоутворення, на різальній частині свердла роблять подвійне заточення та підточування перемички і стрічки. Їх форми наведені у табл.13.1

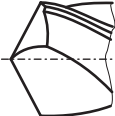
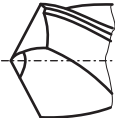
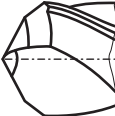
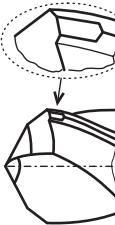
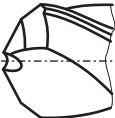
При подвійному заточенні свердла (тип ДП) друге заточення роблять під кутом $2\varphi = 70^\circ$. Таке заточення підвищує стійкість свердла, а при одній і тій же стійкості дозволяє збільшити і швидкість різання.

⁴Цих способів, тільки основних – п'ять. А саме, задні поверхня може бути: площистою, гвинтовою, конічною прямою, конічною зворотною, циліндричною. А варіантів ще більше.

⁵Для діаметрів свердла у межах $10 \dots 80$ мм.

⁶Ще раз – задній кут залежить від способу заточування свердла.

Табл. 13.1. Форми підточки свердла

Діаметр свердла, мм	Форма заточки	Позначення	Ескіз	Оброблюваний матеріал
від 0,25 до 12	Звичайна (нормальна)	Н		Сталь, сталеве лиття, чавун
від 12 до 80	Звичайна з підточуванням поперечної кромки	НП		Сталеве лиття $\sigma_b \leq 50$
	Подвійна з підточуванням поперечної кромки	ДП		Сталеве лиття $\sigma_b \geq 50$
	Подвійна з підточуванням поперечної кромки та стрічки	ДПЛ		Сталь і сталеве лиття з незначною кіркою
	Подвійна з підточуванням і зрізаною поперечною кромкою (по методу В. І. Жирова)	ДП-2		Чавун зі знятою кіркою

Підточування перемички (серцевини) зменшує довжину поперечної кромки і тим самим зменшують осьове навантаження на інструмент.

Для зменшення тертя стрічок об оброблену поверхню (об стінки отвору) роблять підточування стрічков під кутом $6 \dots 8^\circ$ на довжині $1,5 \dots 4$ мм (форма ДПЛ), що призводить до підвищення стійкості свердла.

13.4 Проектний розрахунок

Проектний розрахунок спірального свердла доцільно виконати в такій послідовності.

1. Вихідні дані:

D – зовнішній діаметр свердла, мм;
 s – подача на один оберт, мм/об.

2. Крутний момент $M_{кр}$ що виникає під час роботи свердла

$$M_{кр} = C_M D^m s^n K_M$$

де залежно від матеріалу деталі :

	C_M	m	n
сталь конструкційна	34,8	2,0	0,8
чавун	12,0	2,2	

Коефіцієнт K_M
$$K_M = \left(\frac{\sigma_B}{75} \right)^{0,75}.$$

3. Осьове зусилля різання

$$P_x = C_p D^q s^g K_M$$

де залежно від матеріалу деталі :

	C_p	q	g
сталь конструкційна	68	1,0	0,7
чавун	142	1,2	0,75

Коефіцієнт K_M
$$K_M = \left(\frac{\sigma_B}{75} \right)^{0,75}.$$

4. Середній діаметр $d_{ср}$ конусу Морзе (у формулу закладено коефіцієнт запасу рівний 3)

$$d_{\text{ср}} = \frac{6M_{\text{кр}} \sin \Theta}{0,8\mu P_x}$$

де Θ – середня величина кута конусу Морзе $\Theta = 1^\circ 30'$;
 μ – коефіцієнт тертя між хвостовиком інструмента і шпинделем $\mu = 0,096$.

5. Номер конусу Морзе для середнього діаметру $d_{\text{ср}}$

$d_{\text{ср}}$, мм	7,65	10,50	16,00	21,60	28,45	40,60	58,10
Конус Морзе	0	1	2	3	4	5	6

6. За розрахованою величиною середнього діаметру $d_{\text{ср}}$ приймаємо номер конусу Морзе.

Приклад 13.3 (Проектування свердла)

Визначити номер конусу Морзе для свердла яке утворює отвір діаметром 25 мм у сталі що має $\sigma = 45 \text{ кг/мм}^2$ (441 МПа). Величина подачі становить 0,4 мм/об.

Вихідний дані:

$D = 25 \text{ мм}$ діаметр свердла;

$s = 0,4 \text{ мм}$ подача, мм/об.

Рішення:

1. Крутний момент $M_{\text{кр}}$ що виникає під час роботи свердла

$$M_{\text{кр}} = C_m D^m s^n K_M = 34,8 \cdot 20^{2,0} 0,4^{0,8} \left(\frac{45}{75}\right)^{0,75} = 7594 \text{ кг} \cdot \text{мм}$$

або у ньютонно-метрах $M_{\text{кр}} = 74,5 \text{ Нм}$.

2. Осьове зусилля різання

$$P_x = C_p D^q s^y = 68 \cdot 20^{1,0} 0,4^{0,7} \left(\frac{45}{75}\right)^{0,75} = 488 \text{ кг}.$$

3. Середній діаметр $d_{\text{ср}}$ конусу Морзе

$$d_{\text{ср}} = \frac{6M_{\text{кр}} \sin \Theta}{0,8\mu P_x} = \frac{6 \cdot 7594 \cdot \sin 1^\circ 30'}{0,8 \cdot 0,096 \cdot 488} = 31,8 \text{ мм}.$$

4. Отже, для свердління отвору діаметром 20 мм у сталі, що має $\sigma = 45 \text{ кг/мм}^2$ використовуючи подачу $s = 0.4 \text{ мм/об}$ необхідно застосувати конус Морзе номер 4.

Зауваження. У разі застосування меншого за номером (а відповідно і за розмірами) конуса Морзе, забезпечити нормальну роботу свердла буде неможливо – хвостовик буде не в змозі передати потрібний крутний момент.

13.5 Допуски на виготовлення

Допуск на діаметральний розмір стандартного спірального свердла виготовленого із інструментальної сталі приймають за такими величинами [1]:

Номінальний діаметр, мм	Допуск, мм	Номінальний діаметр, мм	Допуск, мм
0,50... 0,75	0,015	10... 18	0,043
0,75... 1	0,020	18... 30	0,052
1... 3	0,025	30... 50	0,062
3... 6	0,030	50... 80	0,075
6... 10	0,035		

Зауваження. Допуск на виготовлення свердла розташують тільки у мінус (в тіло свердла).

Зворотна конусність робочої частини залежить від діаметра інструмента і повинна знаходитись у межах:

свердла до 6 мм	0,03... 0,08 мм
свердла від 6 до 18 мм	0,04... 0,10 мм
свердла більше 18 мм	0,05... 0,12 мм

Радіальне биття робочої частини відносно осі хвостовика не повинно перебільшувати величин:

Діаметр свердла, мм	Биття, мм
до 20	0,08
від 20 до 50	0,12
більше 50	0,15

Биття різальних кромок виміряне по нормалі до них, рекомендовано не перебільшувати величин:

Діаметр свердла, мм	Биття, мм
до 8	0,12
від 8 до 20	0,15
від 20 до 30	0,18

Зауваження. Чим більше биття різальних кромки, тим більшим буде діаметр обробленого отвору (кажуть свердло розбиває отвір).

13.6 Застосування свердел

Свердло відноситься до так званого “розмірного інструмента для оброблення отворів”.

Розмірний інструмент

Інструмент, який обробляє (утворює) поверхню тільки одного, наперед відомого, розміру.

Адже свердло, що має діаметр, наприклад 10 мм, не може про-свердлити отвір іншого розміру ніж 10 мм. Однак насправді це не зовсім так.

Під час свердління свердло утворює отвір трохи більшого діаметра, ніж воно саме. Це можна пояснити похибками виготовлення свердла, коли його різальні кромки розташовані несиметрично відносно осі обертання. З іншого боку, свердло теж може бути встановлено не точно по осі шпинделя.

Отже, щоб отримати отвір розміру $D_{\text{отв}}$ потрібно застосовувати свердло трохи меншого діаметра $d_{\text{св}}$ [2, стор. 326].

$D_{\text{отв}}, \text{ мм}$	$d_{\text{св}}, \text{ мм}$	$D_{\text{отв}}, \text{ мм}$	$d_{\text{св}}, \text{ мм}$ (перше)	$d_{\text{св}}, \text{ мм}$ (друге)
3	2,9	20	18,7	—
4	3,9	25	23,7	—
5	4,8	30	15,0	28,0
6	5,8	35	20,0	33,0
8	7,8	40	25,0	38,0
10	9,8	45	25,0	43,0
12	11,8	50	25,0	48,0
14	13,8	60	30,0	55,0
16	15,8	70	30,0	65,0
18	17,8	80	30,0	75,0

13.7 Елементи режимів різання

Елементи різання при свердлуванні представлені на рис. 13.10. Умовні позначення⁷:

D – діаметр свердла, мм;

T – прийнятий період стійкості свердла;

s – подача, мм/об;

HB – твердість матеріалу деталі.

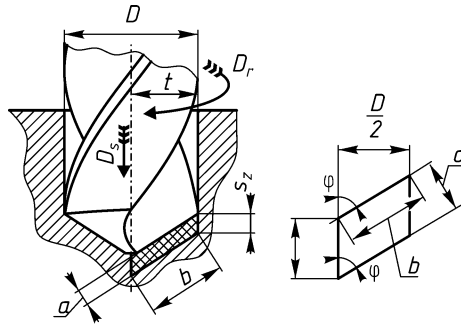


Рис. 13.10. Елементи свердлування

1. Подача свердлування s , мм/об

$$s = 0,05D^{0,6}.$$

2. Подача на одне лезо s_z , мм

$$s_z = \frac{s}{2}.$$

3. Швидкість різання v , м/хв

$$v = \frac{874D^{0,4}}{T^{0,2}s^{0,5}HB^{0,9}}.$$

Рекомендований період стійкості T для оброблення конструкційних сталей залежно від діаметру D отвору:

⁷Всі коефіцієнти в формулах наведених у цьому розділі, відносяться до випадку оброблення конструкційних сталей свердлами з інструментальної сталі.

D , мм	10	17	22	27	35	40	50	80
T , хв	10	12	18	25	32	40	60	90

4. Частота обертання n , об/хв

$$n = \frac{1000v}{\pi D}.$$

5. Осьове зусилля P_o , кг

$$P_o = 1,5 D s^{0,7} H B^{0,75}.$$

6. Крутний момент $M_{кр}$, кг·мм

$$M_{кр} = 0,8 D^2 s^{0,8} H B^{0,7}.$$

7. Товщина a шару зрізаного матеріалу. Визначається в напрямі перпендикулярному до різальної кромки, мм

$$a = s_z \sin \varphi = \frac{s}{2} \sin \varphi.$$

8. Ширина зрізу b вимірюється вздовж різальної кромки й дорівнює її довжині, мм

$$b = \frac{D}{2 \sin \varphi}.$$

9. Площа поперечного перерізу f_z , що припадає на одну різальну кромки, мм²

$$f_z = ab = \frac{s}{2} \sin \varphi = \frac{Ds}{4}.$$

10. Загальна площу f зрізу, що припадає на обидва різальних леза свердла, мм²

$$f = 2f_z = \frac{Ds}{2}.$$

11. Глибина різання t при свердлувальні, дорівнює відстані від осі свердла до обробленої поверхні, мм

$$t = \frac{D}{2}.$$

Приклад 13.4 (Свердлування, режими)

Розрахувати елементи режимів різання для свердлування отвору свердлом із інструментальної сталі в деталі із конструкційної сталі. Застосовується змащувально-охолоджувальна рідина.

Вихідний дані:

- $D = 20$ мм діаметр свердла;
 $\varphi = 59^\circ$ половина кута при вершині свердла;
 $T = 15$ хв прийнятий період стійкості свердла;
 $HB = 150$ твердість матеріалу деталі
 ($R_m = 510$ Н/мм²).

Рішення:

1. Подача свердлування s

$$s = 0,05D^{0,6} = 0,05 \cdot 20^{0,6} = 0,3 \text{ мм/об.}$$

2. Подача на одне лезо s_z

$$s_z = \frac{s}{2} = \frac{0,3}{2} = 0,15 \text{ мм/зуб.}$$

3. Швидкість різання v

$$v = \frac{874D^{0,4}}{T^{0,2}s^{0,5}HB^{0,9}} = \frac{874 \cdot 20^{0,4}}{15^{0,2}0,3^{0,5}150^{0,9}} = 33,85 \text{ мм/хв.}$$

4. Частота обертання n

$$n = \frac{1000v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 33,85}{\pi 20} = 538 \text{ об/хв.}$$

5. Осьове зусилля P_o

$$P_o = 1,5Ds^{0,7}HB^{0,75} = 1,5 \cdot 20 \cdot 0,3^{0,7}150^{0,75} = 554 \text{ кг}$$

або у ньютонх $P_o = 5433$ Н.

6. Крутний момент $M_{кр}$

$$M_{кр} = 0,8D^2s^{0,8}HB^{0,7} = 0,8 \cdot 20^20,3^{0,8}150^{0,7} = 4075 \text{ кг} \cdot \text{мм.}$$

або у ньютонно-метрах $M_{кр} = 39,96$ Н·м.

7. Товщина a шару зрізаного матеріалу, визначена в напрямі перпендикулярному до різальної кромки

$$a = s_z \sin \varphi = \frac{s}{2} \sin \varphi = \frac{0,3}{2} \sin 59^\circ = 0,129 \text{ мм.}$$

8. Ширина зрізу b вимірюється вздовж різальної кромки і дорівнює її довжині

$$b = \frac{D}{2 \sin \varphi} = \frac{20}{2 \sin 59^\circ} = 11,67 \text{ мм.}$$

9. Площа поперечного перерізу f_z , що припадає на одну різальну кромку

$$f_z = ab = \frac{s}{2} \sin \varphi = \frac{Ds}{4} = \frac{20 \cdot 0,3}{4} = 1,5 \text{ мм}^2.$$

10. Загальна площа f зрізу, що припадає на обидва різальних леза свердла

$$f = 2f_z = \frac{Ds}{2} = \frac{20 \cdot 0,3}{2} = 3 \text{ мм}^2.$$

11. Глибина різання t при свердлувальні, дорівнює відстані від осі свердла до обробленої поверхні

$$t = \frac{D}{2} = \frac{20}{2} = 10 \text{ мм.}$$

13.8 Поновлення працездатності

Поновлення працездатності свердла здійснюють заточуванням по двом заднім поверхням. Існує декілька способів заточування.

По площині

Задня поверхня різального елемента свердла є площиною. Цей спосіб застосовують для свердел оснащених твердим сплавом.

Недоліком способу є те, що поперечна різальна кромка свердла приймає форму прямої лінії. Через це свердло погано самоцентрується. Спосіб заточування по площині не потребує спеціального устаткування, і тому є досить поширеним у промисловості при заточуванні свердел оснащених твердим сплавом.

По прямому конусу

Задня поверхня свердла є конічною. При цьому вершина конусу розташована вище вершини свердла. Спосіб застосовують для заточування сталевих свердел діаметром 10...30 мм.

Назва способу “по прямому конусу” (рис. 13.12 на наступній сторінці) походить від положення уявного конуса \mathcal{Z} , вершина якого розташована вище вершини свердла. Під час загострювання свердло здійснює коливання навколо осі δ пристосування. Таким чином, різальна частина свердла описує у просторі конічну поверхню (частину поверхні). Результат цього коливання – задня поверхня теж конічної форми.

Спосіб заточування по прямому конусу забезпечує збільшення задніх інструментальних кутів свердла від периферії до серцевини. Схема заточування за рис. 13.11 (ліва сторона рисунку).

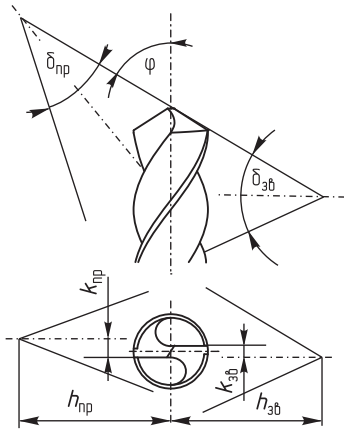


Рис. 13.11. Схема заточування свердла по конусу

$$\delta_{\text{пр}} = 26 \dots 30^\circ$$

$$\delta_{\text{зв}} = 60 \dots 64^\circ$$

$$k_{\text{пр}} = \left(\frac{1}{15} \dots \frac{1}{20} \right) D$$

$$k_{\text{зв}} = \left(\frac{1}{18} \dots \frac{1}{21} \right) D$$

$$h_{\text{пр}} = (1,8 \dots 1,9) D$$

$$h_{\text{зв}} = 1,16D$$

D – діаметр свердла.

По зворотному конусу

Задня поверхня свердла є конічною. При цьому вершина конусу розташована нижче вершини свердла. Такий спосіб зазвичай застосовують для заточування свердел великого діаметру (більше 30 мм).

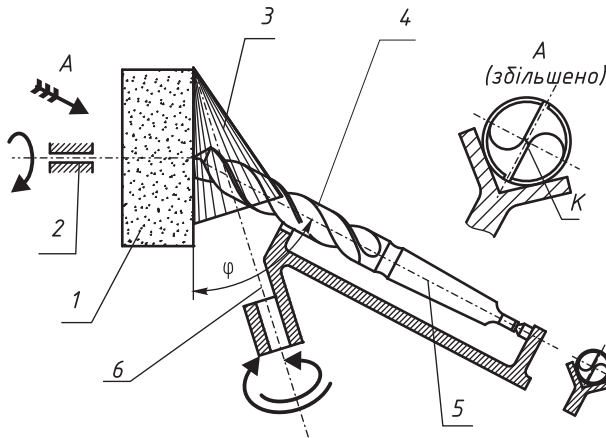


Рис. 13.12. Загострення свердла по прямому конусу

- 1 – абразивний заточний круг;
- 2 – нерухома вісь обертання заточного круга;
- 3 – уявна конічна поверхня, яка описує задню поверхню свердла, яке заточують;
- 4 – свердло закріплене в пристосуванні та орієнтовано відповідно до виду А;
- 5 – вісь свердла, нахилена на кут φ відносно площини заточування (площини обертання круга);
- 6 – вісь конусу навколо якої обертається пристосування разом із свердлом;
- К – різальна кромка свердла (дивись рис. 13.11 на попередній сторінці).

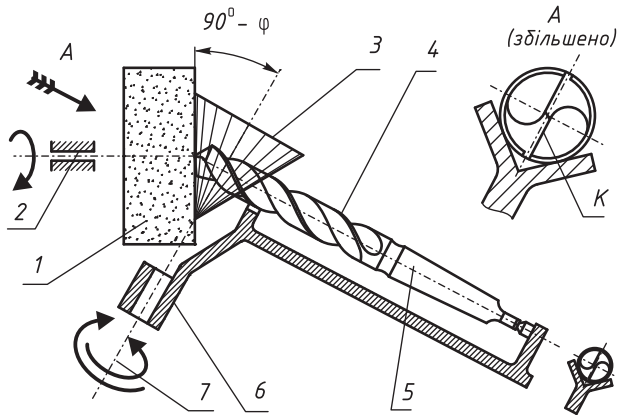


Рис. 13.13. Загострення свердла по зворотному конусу

- 1 – абразивний заточний круг;
- 2 – нерухома вісь обертання заточного круга;
- 3 – уявна конічна поверхня яка описує задню поверхню свердла, яке заточують;
- 4 – свердло закріплене у пристосуванні;
- 5 – вісь свердла;
- 6 – опорна призма на якій лежить свердло;
- 7 – вісь навколо якої обертається пристосування разом із свердлом;
- К – різальна кромка свердла (дивись рис. 13.11 на с. 220).

Назва способу “по зворотному конусу” (рис. 13.13) походить від положення уявного конуса Z , вершина якого розташована нижче вершини свердла. У наслідок коливання пристосування навколо осі Z різальна частина свердла описує в просторі конічну поверхню (частину поверхні).

У протилежність способу “прямого конуса” заточування по “зворотному конусу” забезпечує зменшення задніх інструментальних кутів свердла від периферії до серцевини. Схема заточування за рис. 13.11 на с. 220 (права сторона рисунку).

По гвинтовій поверхні

Задня поверхня є гвинтовою. Такий спосіб забезпечує підвищену працездатність свердла (завдяки раціональній геометрії), однак потребує спеціального обладнання, тому його в основному застосовують заводи виробники свердел.

Зауваження 1. Загалом всі перелічені способи заточування свердла можуть бути застосовані для будь-яких свердел, будь-якого діаметра. Все залежить від наявного устаткування.

Зауваження 2. Експериментальні досліді проведені у 40-х роках ХХ століття показали, що при правильній експлуатації, свердла заточені за різними способами мають приблизно однакові експлуатаційні характеристики.

13.9 Свердла для глибоких отворів

Стандартне свердло для оброблення глибоких отворів подано на рис. 13.14. Його відмінністю є значний кут нахилу стружкової канавки (який становить 60°) порівняно із звичайним свердлом (30°).

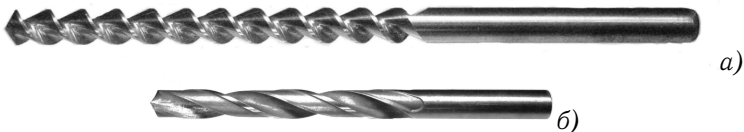


Рис. 13.14. Свердло для глибоких отворів:

- а* – свердло для утворення глибоких отворів;
- б* – звичайне свердло того ж діаметра. Зверніть увагу на нахил стружкових канавок.

Рушничне свердло

Рушничні свердла обробляють отвори, довжина яких у 30 і більше разів більше діаметра. Особливістю свердління є обертання деталі, свердло має тільки осьовий рух подачі, оброблення ведеться на спеціалізованих верстатах.

Рушничне свердло (рис.13.15) має різальну частину 1, стебел 2 та хвостовик 3. Конструктивно – це пола трубка через яку, під тиском подають рідину, яка видаляє стружку. Тому процес свердління не уривається. Це свердло може забезпечуватися твердосплавною різальною частиною. Довжина таких свердел може досягати більше метра (довжина ствола рушниці).

Змінна різальна частина

Подальшим розвитком свердел для оброблення глибоких отворів є свердла із змінною різальною частиною. На рис.13.16 подано зображення такого свердла, а на рис.13.17 його схема.



Рис. 13.16. Змінна різальна частина свердла
[TaegyTec]

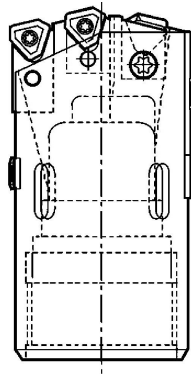


Рис. 13.17. Схема змінної частини свердла
[TaegyTec]

Змінну різальну частину вкручують у полу трубу, потрібної довжини, і утворюють отвір. Отже, така конструкція дозволяє застосовувати свердло саме тієї довжини, яка необхідна.

Особливістю таких свердел є те, що вони не мають серцевини (вона пола). Через полу серцевину подають під тиском рідину, ко-

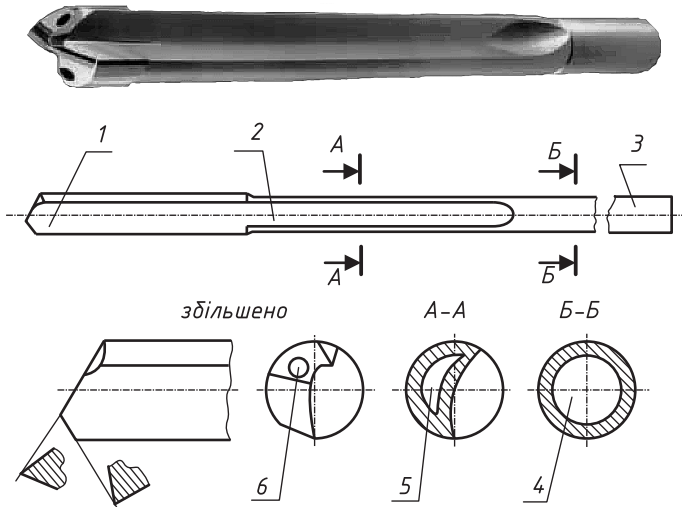


Рис. 13.15. Рушничне свердло
[корпорація Hammond]

- 1 – різальна частина свердла, може мати різальні елементи виконані із твердого сплаву;
- 2 – стовбел свердла. У перерізі А-А має форму ввігнутої (частково сплющеної) трубки;
- 3 – хвостовик виконаний як частина круглої трубки (зазвичай він і є трубкою);
- 4 – полий хвостовик свердла;
- 5 – канал для підведення рідини;
- 6 – вихідний отвір для виходу рідини під тиском.

тра видаляє стружку. Через таку конструкцію, для роботи свердла необхідно мати спеціальне устаткування, яке нагнітає рідину.

Це ускладнює процес експлуатації таких свердел, однак вони знайшли широке використання у військовій справі та під час виготовлення гідравлічних циліндрів, то б то там, де необхідно отримати отвір значної довжини.

13.10 Кільцеве свердло

Зміст кільцевого свердлування деталі (рис.13.18) полягає у тому, що по всій довжині деталі як-би прорізують кільцеву порожнину.

У результаті здійснюють утворення отвору потрібного діаметру, а сердечник залишається цілим, при порівняно великому діаметрі, або ж він ламається при свердлінні, якщо його діаметр невеликий. Сердечник проходить усередині головки і стебла. Внаслідок цього значно зменшується об'єм матеріалу, що зрізується і робота різання.

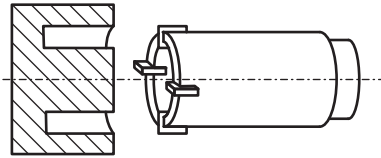


Рис. 13.18. Кільцеве свердло

Такі свердла застосовують під час утворення отворів у деталях значних габаритів, особливо отриманих методами лиття.

13.11 Свердла автоматизованого виробництва

У сучасному автоматизованому виробництві застосовують свердла складеної конструкції, оснащені змінними різальними елементами виготовленими із твердого сплаву. Кожен виробник пропонує свою конструкцію (звичайно “найкращу”).

Sandvik Coromant

Свердло має сталевий корпус (інколи достатньо складної конструкції) та змінну різальну частину (рис. 13.19).

Свердло має змінну різальну частину 1, котра закріплена у корпусі за допомогою гвинта 2. Перевага такої конструкції у тому, що залежно від матеріалу заготовки можливо змінювати тип різального елемента.

Свердло за рис. 13.20 на с. 228 має оригінальну схему розташування змінних різальних пластин. На кожному лезі 4 розміщено по дві пари пластин 5 та 7. Однак на різних лезах вони зміщені по різному, відносно осі обертання інструмента.

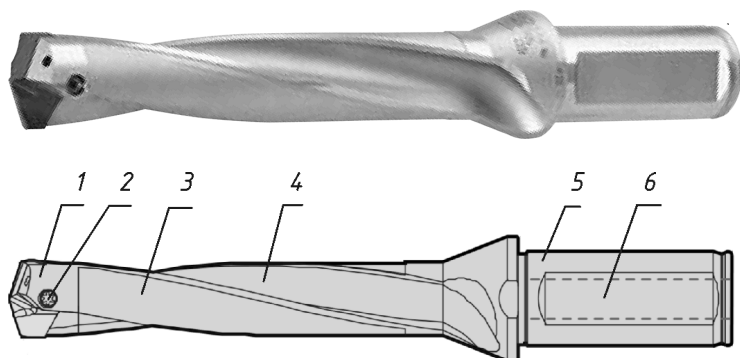


Рис. 13.19. Схема свердла автоматизованого виробництва:
[Sandvik Coromant]

- 1 – змінна різальна частина виконана, зазвичай виконана із твердого сплаву;
- 2 – гвинт, який закріплює змінну різальну частину на корпусі свердла;
- 3 – робоча частина свердла;
- 4 – стружкова канавка для видалення стружки під час роботи інструмента;
- 5 – циліндричний хвостовик свердла;
- 6 – лиска, котра фіксує свердло в патроні орієнтуючи інструмент відповідним чином.

Зверніть увагу, на одному лезі пластина 5 розміщена на самому краї леза, а на другому – трохи відступивши від краю. Таким чином при обертанні свердла всі чотири леза опиняються у шаховому порядку, що призводить до подрібнення стружки.

Ще одним (і дуже важливим) елементом є змінний картридж 6, на якому розміщені різальні пластини. Картридж кріпиться гвинтом 2. Отже, залежно від потреб, можливо застосовувати пластини різної форми та розміру, маючи тільки одну (базову) оправку.

ТаeguТес

На рис. 13.21 на с. 229 подана детальна конструкція свердла автоматизованого виробництва корпорації ТаeguТес (Україна м. Дніпро). Різальний елемент встановлюють у корпус та закріплюють гвинтом.

Свердло має всі конструктивні елементи призначені для поліпше-

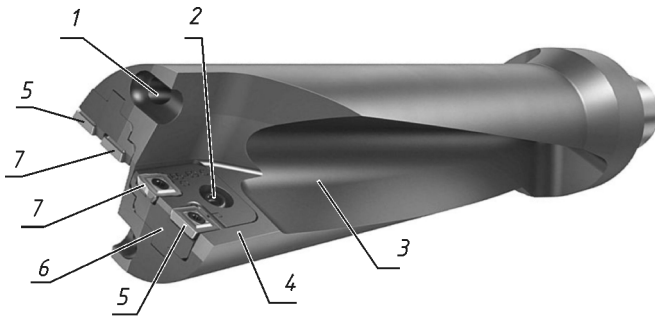


Рис. 13.20. Свердло із змінними пластинами
[Sandvik Coromant]

- 1 – отвір для подачі охолоджувальної рідини;
- 2 – гвинт кріплення змінного картриджу;
- 3 – стружкова канавка свердла;
- 4 – плоска передня поверхня;
- 5 – дві зовнішні змінні пластини;
- 6 – картридж;
- 7 – дві внутрішні змінні пластини.

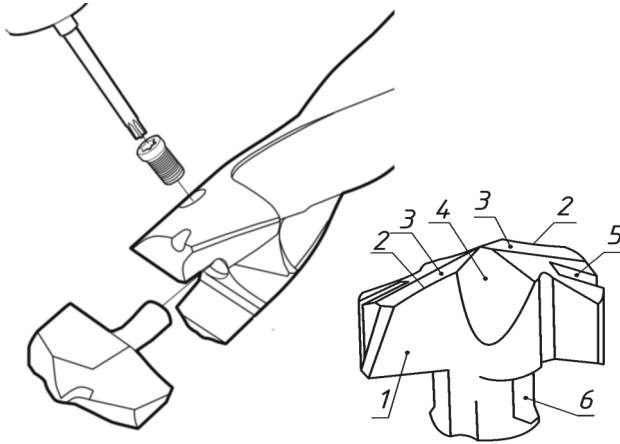


Рис. 13.21. Свердло корпорації TaeguTec

- 1 – передня поверхня різального елемента складної форми з додатнім переднім кутом;
- 2 – дві головні різальні кромки розташовані по обидві сторони змінного різального елемента;
- 3 – дві задні поверхні оформлені як площини;
- 4 – підточка серцевини різального елемента з метою зменшити поперечну різальну кромку;
- 5 – дві канавки призначені для проходження скрізь них охолоджувальної рідини;
- 6 – фаска на штирі для закріплення різального елемента.

ння роботи інструмента, а саме: підточену різальну частину та раціональні геометричні параметри.

Karnasch Professional Tools

Корпорація Karnasch Professional Tools (Німеччина) запропонувала свою конструкцію свердла для сучасного автоматизованого виробництва (рис. 13.22).

Змінний різальний елемент *4* закріплено у пазу *3* корпусу *1*. Канавка *5* слугує для орієнтації пластини відносно корпусу інструмента. На задній поверхні *6*, різальної частини, є канавки *7* призначені для подрібнення стружки. Канавки розташовані в шаховому порядку, що забезпечують краще подрібнення стружки. Через отвори *2* подають охолоджувальну рідину.

Вся конструкція закріплюється двома гвинтами, котрі надійно притискають різальний елемент до опорних поверхонь корпусу.

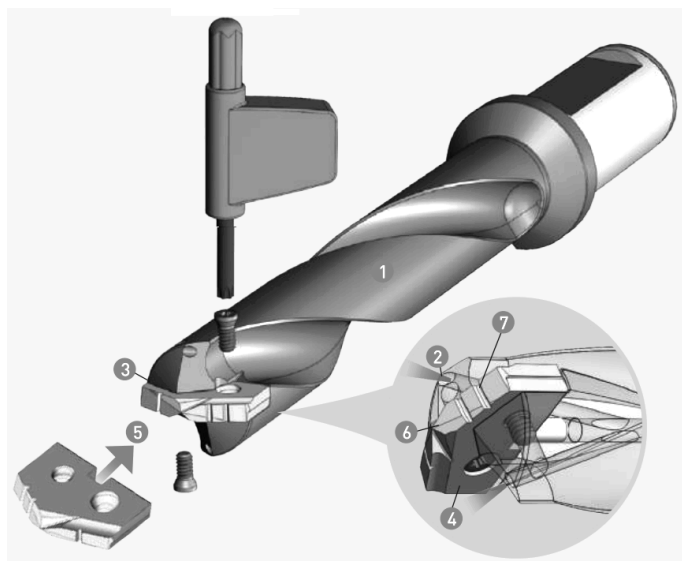


Рис. 13.22. Свердло корпорації Karnasch

Vidia Group

Ще одним перспективним напрямом розвитку конструкції свердла, що застосовують в автоматизованому виробництві є модульна система, коли інструмент (свердло) складається з окремих модулів.

На рис. 13.23 представлено свердло модульного типу міжнародного концерну Vidia Group.

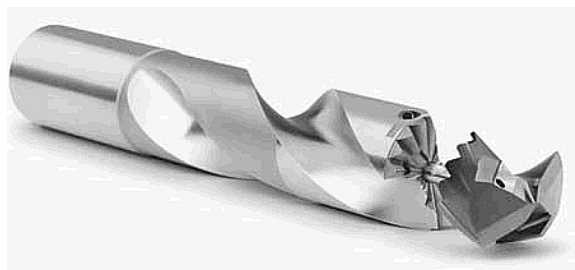


Рис. 13.23. Свердло модульного типу
[Vidia Group]

На відміну від свердел, котрі мають змінні багатогранні пластини, така конструкція має цільний різальний модуль. Це представник, так званого, модульного типу інструментів. Його особливість полягає в тому, що залежно від потреб змінюють не тільки різальний елемент, але й всю різальну частину.

Застосування модульної конструкції дозволяє значно скоротити потребу в інструменті. Адже, змінний модуль може мати не тільки іншу геометрію, але і будь-який розмір (звісно в розумних межах).

Крутний момент передається через торцеві зубці розташовані на місці стику корпусу та різальної частини. Це дозволяє фіксувати положення різних елементів свердла відносно осі обертання інструмента. Для взаємної фіксації окремих модулів корпорація використовує оригінальну конструкцію власного розроблення.

Слід зауважити, що корпорація Vidia Group є провідною в галузі застосування різального інструмента модульного типу. Її перші зразки модульного інструмента з'явились на ринку ще в 60-х роках ХХ століття.

13.12 Питання для самоконтролю

1. Опишіть призначення свердла.
2. Опишіть основні конструкційні елементи стандартного спірального свердла.
3. Що таке поперечна різальна кромка свердла?
4. Чому дорівнює передній кут стандартного спірального свердла?
5. Чи є незмінним передній кут свердла вздовж різальної кромки?
6. Від чого залежить задній кут свердла?
7. Яку форму може мати задня поверхня свердла?
8. Для чого підточують різальну частину свердла?
9. Що таке “діаметр серцевини свердла”?
10. Чому дорівнює діаметр серцевини свердла?
11. Яке призначення має бокова стрічка свердла?
12. Яку форму має стружкова канавка свердла?
13. Для чого на свердлі виконують так-звану шийку?
14. Скільки різальних кромок має стандартне спіральне свердло?
15. Яку величину має кут нахилу спіральної канавки стандартного спірального свердла?
16. Назвіть орієнтовні значення допусків на виготовлення свердла.
17. Чи будуть однаковими за розміром діаметри свердла і утвореного ним отвору?
18. По якій поверхні заточують свердло для поновлення його працездатності?
19. У чому різниця між свердлами звичайними і свердлами для оброблення глибоких отворів?
20. У яких випадках застосовують кільцеві свердла?
21. Викреслить основні елементи свердла для утворення глибоких отворів.

14 ЗЕНКЕРИ

Зенкер

Осьовий інструмент призначений для оброблення отворів, що вже існують з метою покращення їх характеристик, а також для утворення конічних отворів або торцевих уступів.

На рис. 14.1 зображено утворення конічного заглиблення в отворі для гвинта що має “потайну” головку.



Рис. 14.1. Зенкерування

14.1 Типи зенкерів

Цільні зенкери

Зенкери цільної конструкції (їх інколи називають хвостовими) мають найбільше поширення в загальному машинобудуванні (рис.14.2). Їх основною перевагою є значна жорсткість, що дозволяє зменшувати скривлення осі оброблюваного отвору. Призначення конструктивних елементів зенкеру таке.

Робоча частина

Це та частина інструмента, котра виконує основні функції зенкеру – обробляє отвір. Її виготовляють з інструментального матеріалу, зазвичай це сталь Р6М5.

Калібрувальна частина

Насправді калібрувальна частина нічого не калібрує. Діаметр обробленого отвору визначається різальною частиною. Калібрувальна частина направляє інструмент у вже обробленому отворі та забезпечує працездатність зенкеру після його переточування.

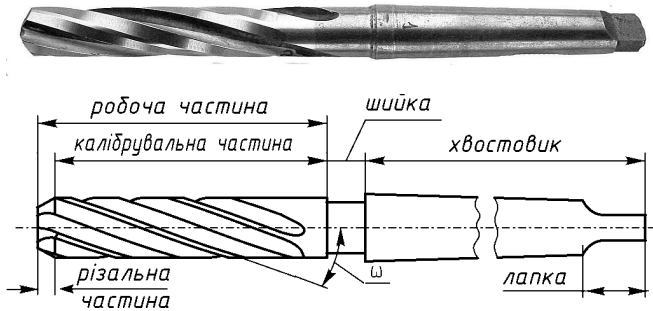


Рис. 14.2. Зенкер цільний

Різальна частина

Ця частина зенкеру має декілька різальних кромek, котрі зрізують припуск на оброблення.

Шийка

Це перехідний елемент між робочою та хвостовою частинами інструмента. На шийці розташовано місце зварювання робочої та хвостової частин. Там же наносять маркування інструмента його діаметр та матеріал різальної частини.

Хвостовик

Основне призначення хвостовика – передати крутний момент від верстата до різальної частини. Його виготовляють з конструкційної сталі (зазвичай сталь 40Х).

Лапка

Єдине призначення лапки – полегшити виймання інструмента із шпинделя верстата. Ніякого крутного моменту вона не передає, це здійснює конічна частина хвостовика (конус Морзе).

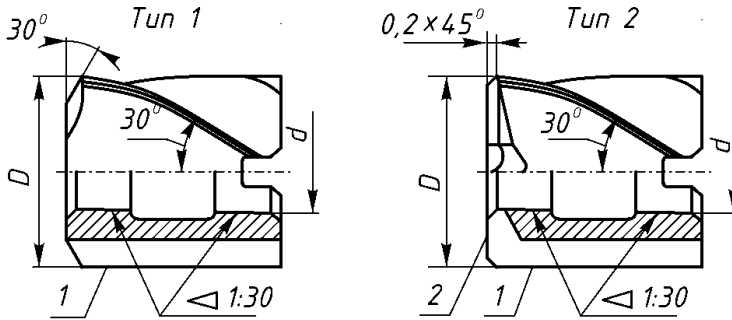


Рис. 14.3. Зенкер насадний

Tun 1 – насадний зенкер призначений для забезпечення отвору необладнаного діаметру:

Tun 2 – насадний зенкер призначений для утворення прямокутного ступінчастого отвору (під головки болтів);

1 – бокова, калібрувальна поверхня зенкера;

2 – торцева різальна кромка.

Зауваження. Весь зенкер підлягає термічній обробці до твердості HRC 62-64. Але загартовують тільки робочу частину. Хвостова частина підлягає тільки нормалізації до твердості HRC 30-35.

Зауваження. Цільний хвостовий зенкер за конструкцію нагадує стандартне спіральне свердло, яке має не два різальні елементи, а три (або більше). На відміну від свердла зенкер не має поперечної різальної кромки, але має значно потовщену серцевину.

Насадні зенкери

Насадні зенкери (рис.14.3) мають конічний посадковий отвір, що забезпечує добре центрування на оправці спеціальної конструкції (рис. 14.4).

Застосування насадного зенкера (його поява як інструмента) викликано тим, що зенкер у процесі експлуатації зношується по діаметральному розміру, у наслідок чого зменшується діаметр обробленого отвору.

Для зенкера його діаметр є критичним. Через це, досить часто, зенкер втрачає придатність до застосування раніш, ніж працездатність. Тобто зенкер, ще може працювати (різати), але вже втратив

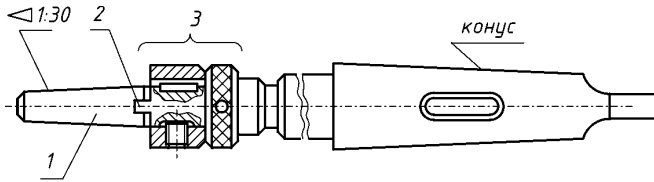


Рис. 14.4. Оправка насадного зенкера

- 1 – посадковий конус на якому закріплюють насадний зенкер;
- 2 – торцева шпонка для передачі крутного моменту від верстата до інструмента;
- 3 – механізм регулювання осьового положення зенкера.

свій розмір. Через це з'явилась насадна конструкція зенкера.

Насадний зенкер потребує у 2...5 рази менше інструментального матеріалу, ніж цільний такого ж діаметра. Однак, через наявність проміжних елементів (кільця, упори, гайки) він має меншу жорсткість, ніж інструмент цільної конструкції. Він утворює отвір дещо меншої точності, ніж цільний, але його вартість у декілька разів нижча за вартість зенкера цільної конструкції. Насадний зенкер застосовують здебільшого на чорнових операціях.

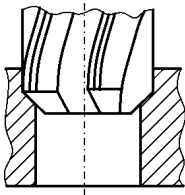
Типи зенкерів

Тип зенкера пов'язаний з його застосуванням та призначенням. На відміну від свердла, яке утворює тільки циліндричні прямі отвори, зенкер застосовують для утворення отворів різної форми (в осьовому переріз).

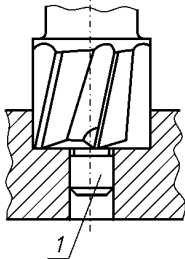
Зазвичай зенкер застосовують для збільшення отвору, котрий вже існує для покращення його характеристик. Зенкер часто використовують як проміжний інструмент між свердлом і розверткою. З його допомогою отримують точніший отвір, ніж при свердлуванні.

За формою робочої частини існує значна кількість зенкерів, але їх можливо розділити на 4 основні типи. Все інше, це їх модифікація залежно від технологічних особливостей процесу оброблення заготовки.

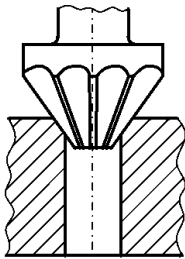
Типи та призначення зенкерів основних конструкцій, що застосовують у машинобудуванні такі.



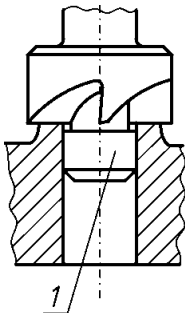
Циліндричний зенкер. Основне призначення – збільшення діаметра отвору, що існує та покращення його геометричних характеристик. Насамперед це зменшення відхилення від круглості та відхилення осі від прямолінійності.



Циліндричний ступінчастий зенкер. Основне призначення – утворення отворів під головки болтів. Елемент 1 це напрямний циліндр, котрий направляє зенкер по осі раніш обробленого отвору.



Конічний зенкер (зенківка). Основне призначення – утворення фасок різного розміру. Це можуть бути просто фаски на отворі. Але при необхідності фаски можуть бути великими для посадкових місць під конічні головки потайних гвинтів та шурупів.



Торцевий зенкер (цеківка). Основне призначення – утворення посадкових місць у деталях отриманих методом лиття. Як правило це збірний інструмент, який складається з центрувальної оправки та змінної різальної частини. Елемент 1 це напрямний циліндр, котрий направляє зенкер по осі раніш обробленого отвору.

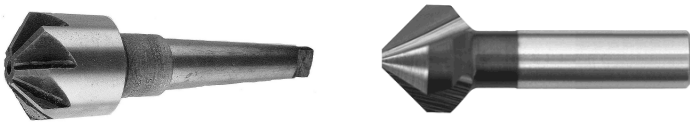
Зенкер циліндричний (рис. 14.5) застосовують для збільшення розміру отвору, що вже існує та для покращення його геометричних характеристик. Зображений зенкер має конічний хвостовик конуса Морзе. Різальна частинна інструмента оснащена пластинками твердого сплаву. Загалом це стандартний зенкер масового застосування.



Рис. 14.5. Циліндричний зенкер

На рис. 14.6 подано зенкер з конічною робочою частиною. Він призначений для утворення фасок або конічних заглиблень для “потайних” шурупів, тому має конусну різальну частину з кутами 60° або 90° , відповідно до стандартів.

Один конічний зенкер може обробляти отвори значного діапазону діаметрів, що робить його достатньо універсальним. У той же час стружкові канавки конічного зенкера мають перемінну величину і значно зменшуються від периферії до центру інструмента. Це призводить до пакування стружки під час оброблення отворів малого діаметра.

Рис. 14.6. Зенкер конічний
[SuttonTools]

Ступінчастий зенкер (рис. 14.7) використовують для утворення отвору під головки ботів. Його призначення – утворити уступ у отворі що вже існує. Головним елементом такого зенкера (окрім різальних кромок) є напрямний циліндр, котрий входить у заздалегідь оброблений отвір та центрує, тим самим, інструмент.

Рис. 14.7. Зенкер ступінчастий
[SuttonTools]

14.2 Конструктивні елементи

Конструктивні елементи різальної частини стандартного зенкера цільної конструкції детально подані на рис.14.8. Конструктивно зенкер мало чим відрізняється від стандартного спірального свердла.

Але має більшу кількість різальних елементів та менший кут нахилу стружкових канавок.

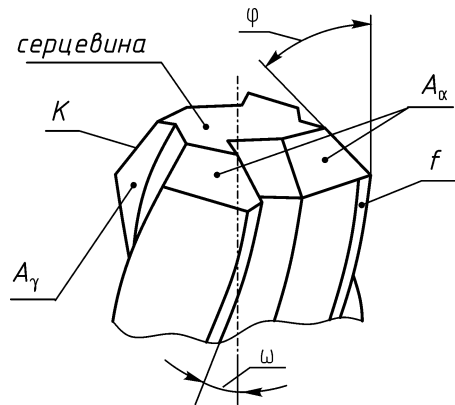


Рис. 14.8. Елементи циліндричного зенкера

- A_γ – передня поверхня різального елемента (зубу);
- A_α – задня поверхня різального елемента, зазвичай це площина;
- K – прямолінійна різальна кромка;
- f – стрічка на боковій (зовнішній) стороні зенкера, слугує для центрування інструмента у вже обробленому отворі;
- ω – кут нахилу стружкової канавки (зубу). Для стандартного зенкера він становить 15° ;
- ϕ – кут при вершині (кут заборного конусу). Зазвичай для зенкера (якщо немає спеціальних вимог) кут ϕ при вершині становить 45° .

Діаметр зенкера вибирають з умов його використання. Якщо зенкер призначений для попередньої обробки отвору після свердління під розвертування, його діаметр вибирають з урахуванням припуску під розвертування (приблизно 0,07...0,1 мм на сторону).

Якщо зенкер застосовують для остаточної обробки отворів, його діаметр приймають з урахуванням: допуску отвору, величини розбиття отвору і запасу на знос.

Передня поверхня

Передня поверхня A_γ є гвинтовою поверхнею. Це поверхня по якій сходить стружка. Передній кут на різальній кромці зенкера дорівнює куту ω нахилу стружкової канавки.

Задня поверхня

Задні поверхня A_α у зенкерів зазвичай є площиною. Переточують зенкер саме по задній поверхні.

Різальна кромка

Різальна кромка K призначена для зрізування припуску і має форму прямої лінії. Це обумовлено тим, що зенкер зрізує відносно тонкий шар припуску (2...3 мм). Отже, форма різальної кромки не має значного впливу на процес різання, тому для простоти виконання її роблять прямою.

Бокова стрічка

Стрічка f на боковий (зовнішній) стороні зенкера центрує його відносно оброблюваного отвору. В ідеалі чим вона вужча, тим краще буде поверхня обробленого отвору. Однак, бокова поверхня інструмента під час роботи третяся о стінки оброблюваного отвору і зношується, тому бокова стрічка f має певну ширину, зазвичай 1...2 мм.

Стружкова канавка

Кут ω нахилу стружкової канавки має незначну величину, зазвичай 15° . Нахил стружкової канавки зенкера менший за нахил стружкової канавки свердла, що можна пояснити меншим об'ємом стружки, що видаляють.

Кут при вершині

Кут ϕ при вершині зенкера в більшості випадків приймають рівним 45° .

Торцевий переріз

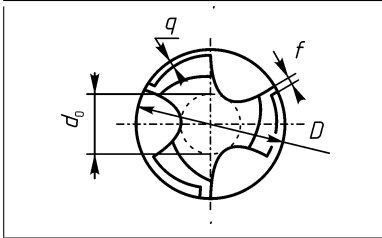
Форма та профіль торцевого перерізу зенкерів залежить від кількості різальних лез. Для інструмента стандартної конструкції передбачено 3 або 4 леза.

Зенкер, що має 3 різальні леза зазвичай використовують на чорнових операціях, або як фінішний у випадках не дуже високих технічних вимог до обробленого отвору (табл. 14.1).

Зенкер що має 4 (а інколи і більше) різальних елементів використовують здебільшого на чистових операціях, він має підвищену жорсткість (табл. 14.2).

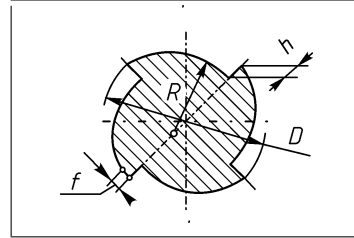
Загалом форма та розміри поперечного перерізу зенкера залежать від його призначення – чистовий/чорновий.

Табл. 14.1. Тризубий зенкер (чорновий)



D , мм	f , мм	q , мм	d_o , мм
12...16	1,3	0,3	7
17...26	1,7	0,4	9
27...36	2,2	0,5	12
38...45	2,5	0,6	15
46...63	2,7	0,7	18

Табл. 14.2. Чотиризубий зенкер (чистовий)



D , мм	h , мм	f , мм	R , мм
15	2,5	1,0	11
20	2,5	1,2	13
30	3,7	1,5	19
40	5,1	1,8	30
50	5,5	2	35

Чистові зенкери повинні мати більшу жорсткість ніж чорнові, тому стружкові канавки чистового зенкера менші, ніж у чорнового.

14.3 Схема різання

Робота зенкера нагадує роботу свердла, але має певні відмінності (рис. 14.9). Насамперед зенкер має більшу кількість різальних елементів ніж свердло, як мінімум 3 леза замість 2-х у свердла.

Це дозволяє працювати із значною подачею, адже подача S_z , що приходить на одну різальну кромку є меншою через більшу кількість лез.

Зенкер завжди обробляє отвір, що вже існує і тому зрізує стружку коротшої довжини b та більшої товщини a . Це покращує умови роботи різальних кромки.

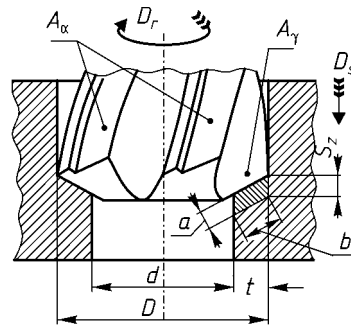


Рис. 14.9. Схема різання

Залежно від призначення зенкера товщина шару припуску t становить 2...3 мм. Так як активна довжина різальної кромки зенкера мала (дорівнює величині b і становить приблизно 2...3 мм), то кути різання є майже незмінні вздовж різальної кромки, що також позитивно впливає на працездатність зенкера.

14.4 Геометричні параметри зенкера

Як і будь-який різальний інструмент зенкер має геометричні параметри, котрі забезпечують його працездатність (рис. 14.10).

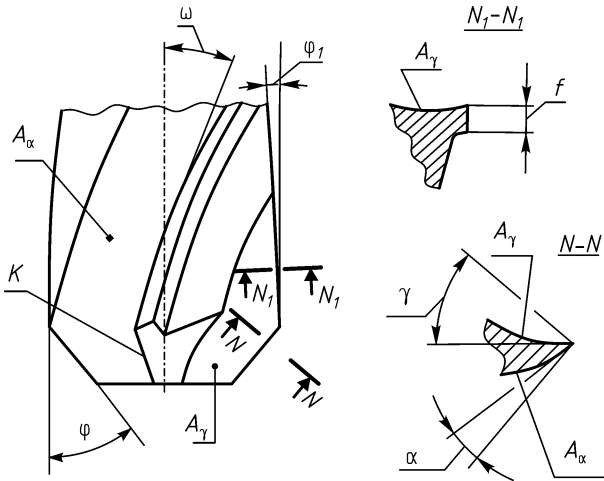


Рис. 14.10. Геометричні параметри зенкера

Кут при вершині

Форму заборної частини зенкера визначає кут φ при вершині (кут заборного конусу). Якщо немає особливих умов, викликаних технологічними причинами, то рекомендується кут φ приймати в наступних межах:

оброблення сталі.....	$\varphi = 60^\circ$
оброблення чавуну.....	$\varphi = 45^\circ$
для підрізних робіт.....	$\varphi = 90^\circ$
зенкери з твердими сплавами.....	$\varphi = 60^\circ$
двозубі зенкери.....	$\varphi = 75^\circ$

Для ринкового зенкера (для невідомого користувача) враховуючи незначну величину припуску (2-3 мм) кут ϕ приймають рівним 45° .

Кут нахилу стружкових канавок

Зенкер забезпечений гвинтовими стружковими канавками, необхідними для полегшення видалення стружки із зони різання. Кут ω нахилу канавки залежить від властивостей оброблюваного матеріалу та від діаметра зенкера. Зазвичай кут ω коливається в межах від 10 до 25° , але для стандартного зенкера його приймають рівним 15° . Величину кута ω визначають на зовнішньому діаметрі інструмента.

Передній кут

Передній кут γ виміряють у площині $N-N$ перпендикулярній до різальної кромки. Теоретично, у наслідок того, що передня поверхня є гвинтовою, передній кут γ має перемінну величину вздовж різальної кромки. Але зважаючи на незначну величину цю зміну не враховують. У торцевому перерізі N_1-N_1 передній кут близько 5° .

Величина переднього кута залежить від матеріалу оброблюваної заготовки [7, с. 95]

Матеріал заготовки	γ°
алюміній та латунь.....	25...30
м'яка сталь.....	15...20
сталь конструкційна	8...12
чавун.....	6...8

Для ринкових зенкерів, загального призначення, передній кут приймають рівним 15° .

Задній кут

Задній кут α різальної частини (на різальній кромці) зенкерів приймають у межах $8 \dots 10^\circ$. Через наявність циліндричної стрічки f , задній кут на боковій калібрувальній частини дорівнює нулю.

14.5 Допуски на виготовлення

Зенкер це загалом фінішний інструмент, тому він має досить критичні вимоги до допусків на виготовлення [7, с. 108].

Величина зворотної конусності робочої частини (зменшення її діаметра від різальної частини до хвостовика) повинна знаходитись у межах:

зенкери діаметром до 18 мм	0,04...0,08 мм
зенкери діаметром більше 18 мм	0,05...0,10 мм

Величина допустимого радіального биття різальних елементів зенкера залежить від його діаметра й не повинна перевищувати значень:

діаметр зенкера, мм	до 18	18...30	більше 30
радіальне биття, мм	0,04	0,05	0,06

Величина биття різальних кромки зенкера, виміряна перпендикулярно до кромки, не повинна перевищувати значень:

діаметр зенкера, мм	до 18	18...30	більше 30
радіальне биття, мм	0,05	0,06	0,07

14.6 Елементи режимів різання

Елементи різання при зенкеруванні представлені на рис. 14.11. У наведених нижче математичних залежностях прийняті такі умовні позначення⁸:

- D – діаметр зенкера, мм;
- D_o – діаметр попередньо утвореного отвору;
- T – прийнятий період стійкості зенкера;
- s – подача, мм/об;
- Z – кількість різальних елементів;
- HB – твердість матеріалу деталі.

⁸Усі коефіцієнти у формулах наведених у цьому розділі, відносяться до випадку оброблення конструкційних сталей зенкерами із інструментальної сталі.

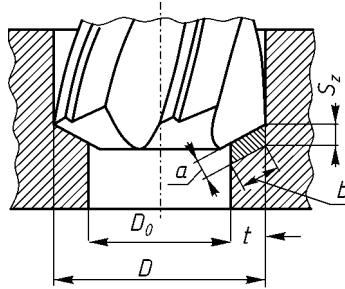


Рис. 14.11. Елементи зенкування

1. Подача зенкування s , мм/об

$$s = 0,103 D^{0,6}.$$

2. Подача на одне лезо s_z , мм

$$s_z = \frac{s}{Z}.$$

3. Швидкість різання v , м/хв

$$v = \frac{1800 D^{0,3}}{T^{0,3} s^{0,5} t^{0,2} HB^{0,9}}.$$

Рекомендований період стійкості T при обробленні конструкційних сталей

D , мм	15	22	27	32
T , хв	12	18	24	25

4. Частота обертання n , об/хв

$$n = \frac{1000 v}{\pi D}.$$

5. Глибина різання t при зенкуванні, мм

$$t = \frac{D - D_0}{2}.$$

Рекомендовані значення глибини різання при зенкуванні (припуск на сторону)

D , мм	до 20	21–35	36–45	46–50
t , мм	0,5	0,75	1,0	1,25

6. Товщина a шару зрізаного матеріалу. Визначається в напрямі перпендикулярному до різальної кромки, мм

$$a = s_z \sin \varphi = \frac{s}{Z} \sin \varphi.$$

7. Ширина зрізу b вимірюється вздовж різальної кромки і дорівнює її довжині, мм

$$b = \frac{t}{\sin \varphi} = \frac{D - D_0}{2\varphi}.$$

8. Площа поперечного перерізу f_z , що припадає на одну різальну кромку, мм²

$$f_z = ab = \frac{s}{Z} \sin \varphi \frac{t}{\sin \varphi}.$$

9. Загальна площу f зрізу, що припадає на обидва різальних леза свердла, мм²

$$f = Z f_z = \frac{s(D - D_0)}{2}.$$

10. Крутний момент, кГс·мм

$$M_{кр} = 165 D^{0,75} s^{0,95} t^{0,8}.$$

Приклад 14.1 (Зенкерування, рижими)

Розрахувати елементи режимів різання для зенкерування отвору зенкером із інструментальної сталі в деталі із конструкційної сталі. Застосовується змащувально-охолоджувальна рідина.

Вихідний дані:

$D = 20$ мм діаметр зенкера;

$D_0 = 19$ мм діаметр отвору під зенкерування;

$\varphi = 45^\circ$ кут у плані при вершині зенкера;

$Z = 4$ кількість лез;

$T = 15$ хв прийнятий період стійкості зенкера;

$HV = 150$ твердість матеріалу деталі
($R_m = 510$ Н/мм²).

Рішення:

1. Подача зенкерування s

$$s = 0,103 D^{0,6} = 0,103 \cdot 20^{0,6} = 0,62 \text{ мм/об.}$$

2. Подача на одне лезо s_z

$$s_z = \frac{s}{Z} = \frac{0,62}{4} = 0,155 \text{ мм.}$$

3. Глибина різання t при зенкеруванні

$$t = \frac{D - D_0}{2} = \frac{20 - 19}{2} = 0,5 \text{ мм.}$$

4. Швидкість різання v

$$v = \frac{1800 D^{0,3}}{T^{0,3} s^{0,5} t^{0,2} HB^{0,9}} = \frac{1800 \cdot 20^{0,3}}{15^{0,3} 0,62^{0,5} 0,5^{0,2} 150^{0,9}} = 31,5 \text{ м/хв.}$$

5. Частота обертання n

$$n = \frac{1000 v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 31,5}{\pi 20} = 501 \text{ об/хв.}$$

6. Товщина a шару зрізаного матеріалу. Визначається в напрямі перпендикулярному до різальної кромки

$$a = s_z \sin \varphi = \frac{0,62}{4} \sin 45^\circ = 0,11 \text{ мм.}$$

7. Ширина зрізу b вимірюється вздовж різальної кромки і дорівнює її довжині

$$b = \frac{t}{\sin \varphi} = \frac{0,5}{\sin 45^\circ} = 0,7 \text{ мм.}$$

8. Площа поперечного перерізу f_z , що припадає на одну різальну кромку

$$f_z = ab = \frac{s}{Z} \sin \varphi \frac{t}{\sin \varphi} = \frac{0,62}{4} \sin 45^\circ \frac{0,5}{\sin 45^\circ} = 0,077 \text{ мм}^2.$$

9. Загальна площа f зрізу, що припадає на обидва різальних леза свердла

$$f = Z f_z = \frac{s(D - D_0)}{2} = 4 \cdot 0,077 = 0,31 \text{ мм.}$$

10. Крутний момент

$$M_{\text{кр}} = 165 D^{0,75} s^{0,95} t^{0,8} = 165 \cdot 20^{0,75} 0,62^{0,95} 0,5^{0,8} = 569 \text{ кг·мм}$$

або у ньютонно-метрах $M_{\text{кр}} = 5,58 \text{ Н·м.}$

14.7 Поновлення працездатності

У процесі експлуатації робочі елементи зенкера зазнають затуплення. Переточують зенкер по заднім поверхням різальної частини, то б то по заборному конусу.

За одну операцію переточування з затупленої поверхні видаляють (методом шліфування) шар металу товщиною 0,2...0,4 мм. Загалом чим частіше виконують переточування зенкера, тим довше він прослужить.

На рис. 14.12 подана кінематична схема заточування зенкера насадної конструкції. Зенкер 3 закріплено в шпинделі 4. Положення зенкера фіксовано за допомогою торцевої шпонки 5. Заточування проводять по задній площині 6. У процесі заточування зенкер 3 спирається на опору 7, яка додатково фіксує положення інструмента. Круг 2 на оправці 1 виконує заточування зенкеру.

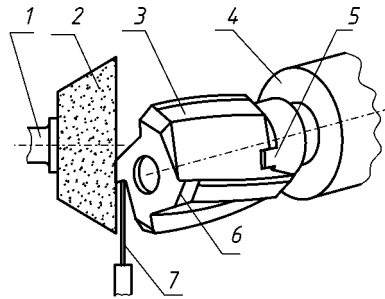


Рис. 14.12. Заточування зенкера

Наведена схема заточування утворює задню поверхню зенкера у формі площини. Для того щоб зенкер, після переточування, мав задані геометричні параметри його необхідно встановити на верстаті певним чином.

1. Кут повороту зенкера навколо його осі

$$\operatorname{tg} \Theta_B = \frac{\operatorname{tg} \alpha_N}{\cos \varphi}$$

де Θ_B – кут повороту зенкера навколо його осі;

α_N – задній кут у площині перпендикулярній до різальної кромки;

φ – кут заборного конусу (кут у плані при вершині зенкеру).

2. Заниження упорки відносно осі центрів (відносно осі інструмента)

$$h = \frac{d}{2} \sin \Theta_B$$

де d – діаметр зенкера.

3. Кут повороту зенкера у горизонтальній площині (для забезпечення кута в плані)

$$\operatorname{tg} \Theta_A = \cos \Theta_B \operatorname{tg} \varphi.$$

Приклад 14.2 (Переточування зенкеру)

Розрахувати установчі параметри зенкера для забезпечення заданих параметрів після його переточування.

Вихідний дані:

$d = 22$ мм діаметр зенкера;

$\alpha_N = 15^\circ$ задній кут з площині перпендикулярній до різальної кромки;

$\varphi = 60^\circ$ кут при вершині зенкера (кут у плані).

Рішення:

1. Кут повороту зенкера навколо його осі

$$\operatorname{tg} \Theta_B = \frac{\operatorname{tg} \alpha_N}{\cos \varphi} = \frac{\operatorname{tg} 15^\circ}{\cos 60^\circ} = 1,9319$$

звідки $\Theta_B = 28^\circ 11' 12''$.

2. Заниження упорки відносно осі інструмента

$$h = \frac{d}{2} \sin \Theta_B = \frac{22}{2} \sin 28^\circ 11' 12'' = 5,196 \text{ мм}$$

3. Кут повороту зенкера у горизонтальній площині

$$\operatorname{tg} \Theta_A = \cos \Theta_B \operatorname{tg} \varphi = \cos 28^\circ 11' 12'' \operatorname{tg} 60^\circ = 1,5267$$

звідки $\Theta_A = 56^\circ 46'$.

4. Отже, для того щоб отримати зенкер із заданими параметрами необхідно:

- опустити упор на $h = 5,196$ мм;
- та повернути зенкер на кут $\Theta_A = 56^\circ 46'$.

14.8 Питання для самоконтролю

1. Перелічить типи зенкерів.
2. Що таке насадний зенкер?
3. Опишіть конструкцію насадного зенкера.
4. Перелічить конструктивні елементи зенкера.
5. Яке призначення має лапка зенкера?
6. Із якого матеріалу виконують хвостову частину зенкера?
7. Яке призначення має циліндричний зенкер?
8. Яке призначення має конічний зенкер?
9. Скільки різальних кромek має стандартний циліндричний зенкер цільної конструкції?
10. Яке призначення має торцевий зенкер?
11. Яка глибина різання при зенкеруванні?
12. Чому дорівнює передній кут зенкера?
13. Чому дорівнює кут при вершині зенкера?
14. Як поновлюють працездатність зенкера?
15. Яку форму має передні поверхні зенкера?
16. Яку форму має задні поверхні зенкера?
17. По якій поверхні переточують зенкер для поновлення його працездатності?
18. Для чого використовують упорку під час загострення зенкера?

15 РОЗВЕРТКИ

Розвертування

Вид чистової механічної обробки отворів різанням. Застосовують після попереднього свердління і зенкування для отримання отвору з меншими шорсткістю та похибками.

На рис. 15.1 зображено процес розвертування отвору в деталі великого габариту типу фланець.

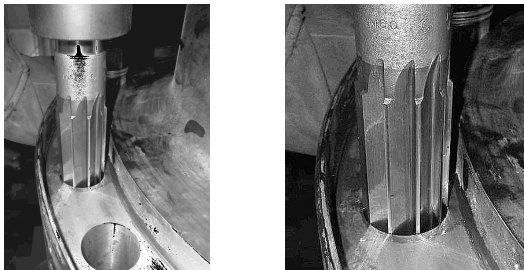


Рис. 15.1. Розвертування

Розвертка призначена для оброблення отворів у деталях, коли застосування внутрішнього шліфування недоцільно.

Розвертку винайшли у середні віки. Її застосовували для розвертування рушничних столів. Одночасно розвертку застосовували при виготовленні годинників – з її допомогою підганяли розмір отворів під розмір камінців, котрими оздоблювали годинник⁹.

Розвертки застосовують для остаточного оброблення отворів після свердління, зенкування або розточування для отримання високої точності і низької шорсткості поверхні отвору, а саме:

квалітет	6 – 8
шорсткість, Ra , мкм	1,25 – 0,63

⁹Ці перші конструкції разверток саме розвертували отвір, що вже існував. Вони не різували припуск бо не мали різальних лез, через що і були названі розвертками.

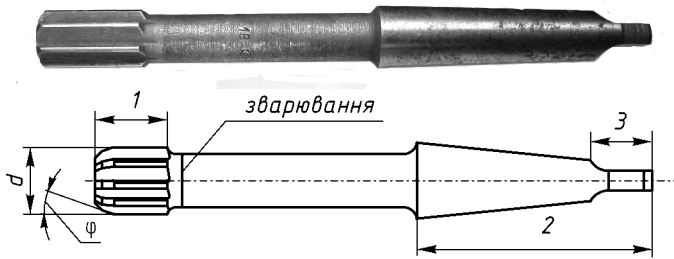


Рис. 15.2. Розвертка машинна

- 1 – робоча частина;
- 2 – хвостовик конічний Морзе (передає крутний момент);
- 3 – лапка (для видалення інструмента із шпинделя);
- d – діаметр різальної частини;
- φ – кут забірного конусу.

Відмінність розвертки від свердел та зенкерів полягає в тому, що розвертка має значно більшу кількість різальних лез (в середньому 6...8, а інколи і 10...12). Це дозволяє отримати отвір з параметрами близькими до шліфування.

15.1 Конструкція розвертки.

Розвертка

Це багатозубий інструмент, який здійснює, в процесі оброблення отвору, обертання навколо своєї осі (головний рух) і поступально переміщується уздовж осі отвору, здійснюючи рух подачі.

Розрізняють розвертки машинні (рис.15.2) та ручні (рис.15.3). Ручну розвертку приводить в дію робітник своїми руками, машинну – верстат.

Незалежно від типу розвертки вони мають однакові, за призначенням, конструктивні елементи. Більшість з яких стандартизовано відповідними стандартами.

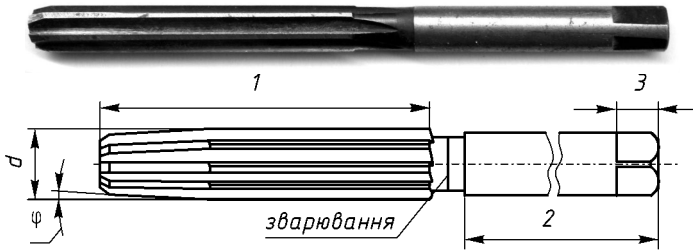


Рис. 15.3. Розвертка ручна

- 1 – робоча частина;
- 2 – хвостовик циліндричний;
- 3 – квадрат під вороток;
- d – діаметр різальної частини;
- φ – кут забірного конусу.

Робоча частина

Робоча частина розвертки має дві складові частини розташовані впритул одна до одної (рис. 15.4):

- різальна частина – яка зрізує припуск під оброблення;
- та калібрувальна частина – яка “калібрує” отвір.

Довжину l_p робочої частини 1 розвертки загального користування визначають залежно від її діаметра D :

- для машинної розвертки $l_p = (0,85 \dots 1,5)D$;
- для ручної розвертки $l_p = (5 \dots 7)D$.

Загалом недоцільно застосовувати розвертки із робочою частиною, котра значно довша ніж довжина обробленого отвору.

Різальна частина

Різальна частина 2 розвертки безпосередньо зрізує припуск на розвертування.

Різальна частина це забірний конус з кутом 2φ . Із зміною кута в плані φ змінюється співвідношення між шириною і товщиною зрізу. Із збільшенням кута забірного конуса росте осьове зусилля, ускладнюється просування розвертки.

Для ручних розверток кут в плані приймається невеликим, що також сприяє плавному входу розвертки в отвір на початку роботи.

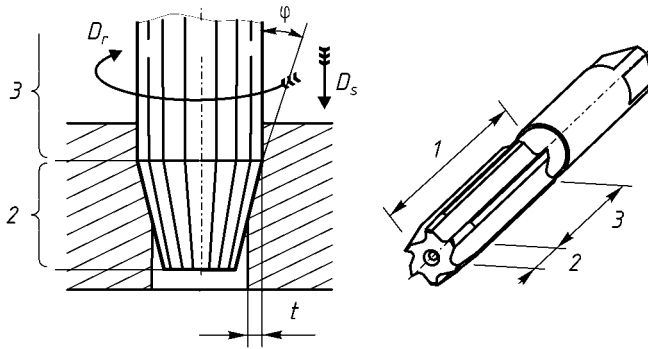


Рис. 15.4. Робоча частина розвертки

- 1 – робоча частина;
 2 – різальна частина;
 3 – калібрувальна частина;
 φ – кут заборного конусу;
 t – припуск на сторону.

Машинні розвертки при роботі направляються краще за ручних, тому довжина їх різальної частини (забірного конусу) може бути меншою, а кут в плані більшим.

У загальному випадку, при відсутності особливих вимог, кут φ у плані забірного конуса розвертки може бути таким:

Тип розвертки	φ
ручні	$0^{\circ}30'' \dots 1^{\circ}30''$
машинні для сталі	$12 \dots 15^{\circ}$
машинні для чавуну	$3 \dots 5^{\circ}$
для глухих отворів	45°

Калібрувальна частина

Калібрувальна частина 3 розвертки (рис. 15.4) це циліндрична ділянка інструмента, яка визначає діаметр утвореного отвору.

У той же час треба мати на увазі, що калібрувально частина насправді не зовсім циліндрична – вона має зворотну конусність у межах 1/3 від допуску на виготовлення розвертки. Це зроблено для того, щоб розвертка гарантовано не утворювала конічний отвір.

Зубці розвертки

Кількість зубців розвертки вибирається залежно від:

- оброблюваного матеріалу заготовки;
- діаметра інструмента (чим більший діаметр, тем більше зубів);
- конструкції інструмента (цільна, складена, напайна).

Із збільшенням числа зубців шорсткість обробленої поверхні отворів підвищується, проте зменшується об'єм стружкових канавок, і вони можуть виявитися недостатніми для вільного розміщення стружки.

Розвертки мають парну кількість зубців. Це полегшує вимірювання їх діаметра. Кількість зубів визначаються за формулою

$$Z = 1,5\sqrt{D} + 2.$$

При обробленні крихких металів кількість зубців можливо збільшити

$$Z = 1,5\sqrt{D} + 4.$$

Кутовий крок зубців

Позитивний вплив на роботу розвертки має нерівномірний розподіл зубців по колу (кут ω на рис. 15.5), що сприяє гасінню вібрацій які виникають при роботі, особливо в умовах недостатньої жорсткості устаткування.

Якщо розвертка має однаковий кутовий крок зубців – значно збільшується вірогідність отримати не круглий отвір, а багатогранний.

Розподіл кутового кроку ω залежно від кількості зубів Z доцільно прийняти такою

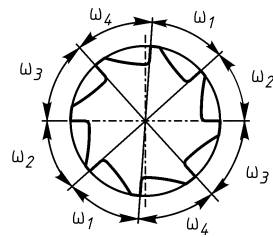


Рис. 15.5. Кутовий крок зубців

Z	ω_1	ω_2	ω_3	ω_4	ω_5	ω_6
4	$88^{\circ}55'$	$92^{\circ}05'$	–	–	–	–
5	$58^{\circ}02'$	$59^{\circ}53'$	$62^{\circ}05'$	–	–	–
6	42°	44°	46°	48°	–	–
10	33°	$34^{\circ}30'$	36°	$37^{\circ}30'$	39°	–
12	$27^{\circ}30'$	$28^{\circ}30'$	$29^{\circ}30'$	$30^{\circ}30'$	$31^{\circ}30'$	$32^{\circ}30'$

У той же час, кожна пара протилежних зубців розвертки розташована точно на одному діаметрі. Це дозволяє контролювати (вимірювати) її розмір інструментами типу мікрометр.

Профіль стружкових канавок.

Утворення стружкових канавок розверток здійснюється однокутовими (рис. 15.6,а) або двокутовими (рис. 15.6,б) фрезами з кутом профілю $\Theta = 65 \dots 110^\circ$.

Для середніх і великих розмірів застосовується профіль з контуром спинки зуба по радіусу, що полегшує розміщення стружки в канавках (рис. 15.6,в).

Зазвичай канавки у розверток роблять прямі, що спрощує їх виготовлення та контроль. Однак для оброблення отворів, що уриваються по довжині або мають канавки, застосовують розвертки з гвинтовими зубами.

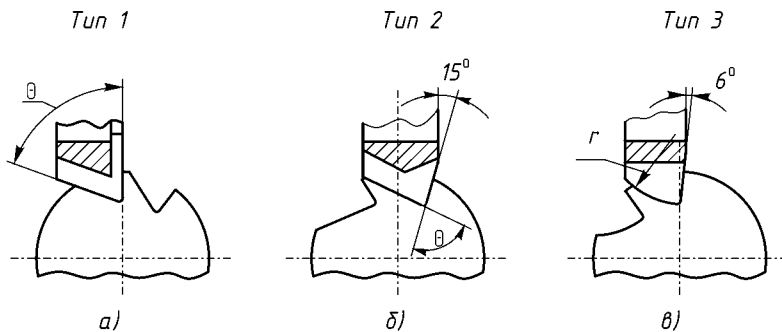


Рис. 15.6. Профіль канавок розвертки

15.2 Геометричні параметри

Геометричні параметри розвертки подані на рис.15.7. Зубець розвертки на різальній частині 2 заточують "нагостро". Запобіжний конус 5 потрібен для захисту інструмента на випадок неочікуваного збільшення припуску.

На калібрувальній 3 частині (переріз В-В) залишена циліндричної стрічки f шириною $0,05 \dots 0,3$ мм. При обробленні в'язких металів, щоб уникнути налипання часток металу, ширина стрічки зменшується до $0,05 \dots 0,10$ мм (дивись примітку¹⁰).

¹⁰ Аркуш звичайного паперу має товщину приблизно $0,1$ мм

Стрічка f служить для направлення розвертки в отворі, сприяє калібруванню отвору і полегшує контроль розвертки по діаметру.

Передній кут

Оскільки розвертка працює в зоні малої товщини зрізаного шару (0,03...0,1 мм), передній кут γ розверток зазвичай приймають рівним нулю.

Характер протікання процесу різання залежить, головним чином, не від величини переднього кута, а від радіусу округлення різальної кромки, який співвідноситься з товщиною зрізаного шару припуску. Тому при чистовому обробленні (коли величина припуску в межах 0,03–0,06 мм на сторону) вплив переднього кута мінімальний.

Зазвичай передній кут γ приймають:

чистові розвертки	$\gamma = 0^\circ$
чорнові розвертки	$\gamma = 5 \dots 10^\circ$

Задній кут

Задній кут α приймають невеликим для збереження міцності різальної кромки. Його величина обмежується не скільки міркуваннями теорії різання, скільки способом загострення на верстаті.

При значних величинах задніх кутів є небезпека зрізати сусідній зуб що добре видно на рис. 15.8.

Розвертка 1 опирається на упор 5. Абразивний круг 2 утворює задню поверхню зубу 4, але сусідній зубець 3 обмежує величину заднього кута на попередньому зубці. Тому задній кут α коливається у межах $4 \dots 8^\circ$.

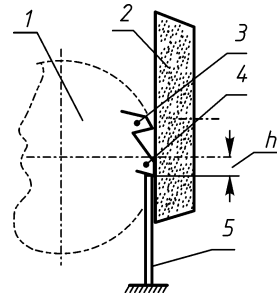


Рис. 15.8. Отримання заднього кута

Зауваження. Як видно з рис. 15.7 переріз $B-B$ задній кут на калібрувальній частині розвертки дорівнює нулю. Адже циліндрична фаска, котра примикає до “гострої” різальної кромки не має заднього кута – вона циліндрична.

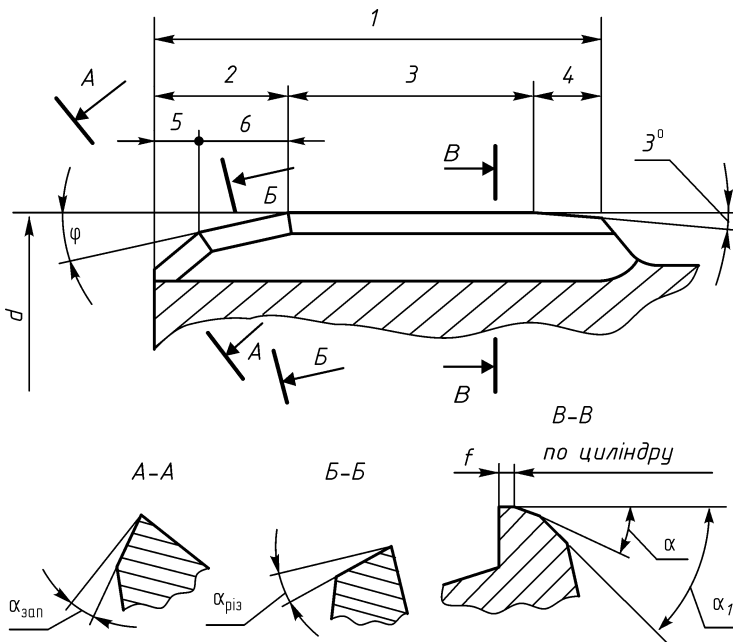


Рис. 15.7. Геометричні параметри розвертки

- 1 – робоча частина;
- 2 – різальна частина;
- 3 – калібрувальна частина;
- 4 – зворотна фаска (застосовують при обробленні отворів глибше 2-3 діаметрів інструмента);
- 5 – запобіжний конус (про всяк випадок);
забірний конус (саме від зрізує припуск);
- φ – кут заборного конусу;
- $\alpha_{\text{зап}}$ – задній кут на запобіжному конусі;
- $\alpha_{\text{різ}}$ – задній кут на заборному конусі;
- α – задній кут на калібрувальній частині;
- α_1 – кут оформлення стружкової канавки.

15.3 Типи розверток

Цілісні розвертки

Простий і найбільш поширений тип ручної розвертки – цілісна циліндрична з прямими канавками. Їх виготовляють, зазвичай, з хромистої сталі 9ХС. Ці розвертки мають два недоліки:

- неможливість регулювання розміру після діаметрального зносу розвертки;
- малий період розмірної стійкості (60. . . 80 оброблених отворів),

Розвертки регульовані

Регульовані розвертки мають змогу змінювати свій розмір в деяких межах. Здебільшого їх застосовують у ремонтному виробництві, коли є необхідність в індивідуальному підборі розмірів валу та отвору. Розрізняють розтискні та розсувні розвертки.

Розтискні розвертки

У корпусі 1 розтискної розвертки (рис. 15.9), виготовленої із сталі 9ХС, в центрі просвердлений отвір, на одному кінці якого нарізна різьба. У глибині отвір має конусну частину. У отвір розвертки вставлена кулька 3 і вкручено регулювальний гвинт 2. Якщо почати вкручувати гвинт, то він натискатиме на кульку, яка прагнучиме розтискати стінки отвору.

У середній частині корпус розвертки забезпечений прорізами 4. По мірі втискування кульки в отвір, корпус розвертки розтискається та збільшується в діаметрі, але збільшення діаметру відбувається тільки в центральній частині розвертки.

Ручні розсувні розвертки

У корпусі 1 ручної розсувної розвертки (рис.15.10), виготовленої з конструкційної сталі, виготовлені точні пази, що йдуть з ухилом, по відношенню до осі розвертки. У пази вставлені плоскі ножі 4 які можуть переміщуватись вздовж осі розвертки. Переміщення ножів вздовж нахилених пазів призводить до зміни діаметру інструмента.

Розвертки такої конструкції застосовують здебільшого під час виконання ремонтних робіт, коли необхідно індивідуально підібрати розмір отвору.

Певним недоліком таких розверток є схильність до утворення ризок на обробленій поверхні внаслідок коливань інструмента.

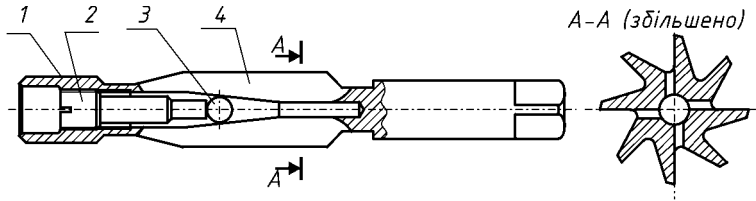


Рис. 15.9. Розвертка розтискана

- 1 – корпус розвертки;
- 2 – гвинт із штоком який штовхає кульку 3;
- 3 – кулька сталева;
- 4 – розріз у корпусі, він забезпечує пружність корпусу.

Регульовані розсувні розвертки мають значні межі зміни свого діаметру:

Діаметр розвертки, мм	Діапазон регулювання, мм
6...10	≈ 0,15
10...20	≈ 0,25
20...30	≈ 0,40
30...50	≈ 0,50

Ці розвертки дуже зручніші під час виконання ремонтних робіт. Регульовані ручні розвертки виготовляють для отворів діаметром 10...38 мм, дрібніші розвертки дуже складні у виготовленні, а більші рідко використовують як ручні.

Машинні розсувні розвертки

На відміну від ручних розверток, машинні розвертки мають коротку робочу частину і часто меншу кількість зубців. Довжина їх робочої частини становить 0,8–0,9 від діаметру.

Машинна розсувна розвертка загального призначення подана на рис. 15.11. Різальний елемент 1 має на своїй боковій стороні рифлення, яке направляє пластину у пазу. Отже, переміщення пластини 1 вздовж паху призводить до зміння діаметру інструмента. Притискні планки 4 збільшують жорсткість всієї конструкції.

Застосування насадної конструкції обумовлено виключно фінансовими факторами – вона дешевша, адже змінні леза коштують недорого..

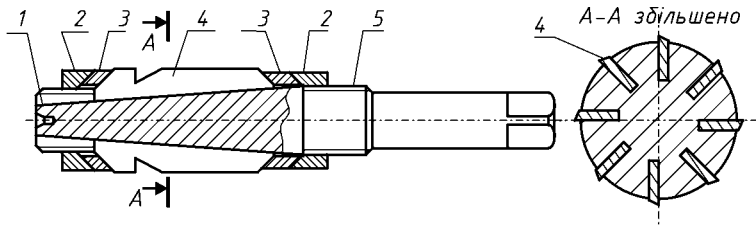


Рис. 15.10. Розвертка розсувна

- 1 – корпус з повздовжніми канавками;
- 2 – гайка з внутрішнім конічним торцем;
- 3 – кільце-прокладка між гайкою 2 та розсувними ножами 4;
- 4 – розсувні ножі виготовлені з інструментальної сталі;
- 5 – різьба для регулювання положення гайок 2.

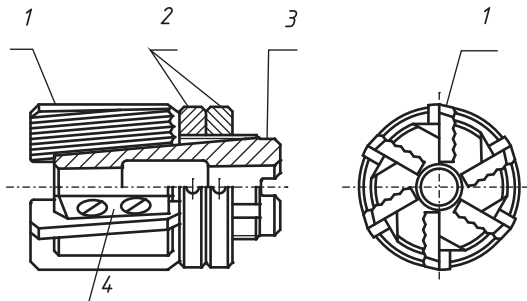


Рис. 15.11. Машинна розсувна розвертка

- 1 – змінні розсувні ножі;
- 2 – гайка та контргайка;
- 3 – корпус розвертки;
- 4 – притискні планки.

Розвертки для конічних отворів

Розрізняють конічні розвертки:

- для конічних отворів під штифті (під шпильки);
- для конічних отворів конусу Морзе.

Розвертки під конічні штифти

Розвертки для оброблення отворів під конічні штифти відрізняються від циліндричних ручних розверток тільки тим, що мають конічну робочу частину (рис. 15.12).



Рис. 15.12. Конічна розвертка для штифтів
(для порівняння біля розвертки покладено сірника)

Реально це ручна розвертка, яка має тільки забірний конус (конічну частину).

Розвертки під конуси Морзе

Конус Морзе¹¹ це конічна посадкова поверхня хвостовика осьових інструментів (рис. 15.13).

Конічна поверхня конусу Морзе передає крутний момент від верстата до (осьового) інструмента (здебільшого це свердла, зенкери та розвертки). Залежно від свого розміру конуси Морзе поділяють на номери, від 0 до 6, при цьому їх конусність різна



Рис. 15.13. Конус Морзе

Конус Морзе	Конусність	Номінальний діаметр, мм
0	1 : 19,120	9,045
1	1 : 20,048	12,065
2	1 : 20,020	17,781
3	1 : 19,922	23,826
4	1 : 19,254	31,269
5	1 : 19,002	44,401
6	1 : 18,180	63,350

¹¹ Названий так на честь підприємця Стивена Емброуза Морзе (*Stephen Ambrose Morse*) який першим запатентував їх у 1863 р. (*Сполучені Штати Америки*).

Номинальний діаметр, це найбільший діаметр конусу на його робочій частині. Зверніть увагу, конусність усіх конусів – різна, що спонукало до цього Морзе, невідомо.

Розвертки для оброблення конусів Морзе застосовують комплектом із трьох штук. Розвертки для конічного отвору Морзе працюють у важчих умовах, ніж циліндричні. Конічна розвертка ріже усім своїм лезом і не має калібрувальної частини, оскільки різальні кромки по усій довжині вступають в роботу. До комплект входять три розвертки: чорнова (обдирна), проміжна і чистова.

Чорнова розвертка (рис.15.14,а) призначена для зняття значного припуску; для полегшення роботи різальної кромки її роблять ступінчастою. Для цього на конічній поверхні розвертки нарізують гвинтовий зуб.

Проміжна розвертка (рис.15.14,б) має стружкороздільні канавки, нарізані у вигляді різьблення; залежно від діаметру крок цього різьблення різний.

Чистова розвертка (рис.15.14,в) має прямі зубці по усій довжині різальної частини (її фото подано зверху кресленника).

15.4 Проектування розверток

Вибір основних конструктивних елементів розверток здійснюють у такій послідовності.

1. Діаметр розвертки D залежить від діаметру отвору D_o , допуску Δ на отвір що утворюють та величини розбивки P

$$D = D_o + \Delta + P$$

Схема розташування полів допусків на діаметр розвертки наведена на рис.15.15. На якому:

IT_o – допуск на виготовлення оброблюваного отвору;

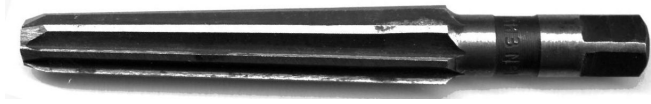
P_{max} – найбільша величина розбиття при обробленні;

P_{min} – найменша величина розбиття при обробленні;

δ_b – допуск на виготовлення розвертки;

δ_z – запас на знос розвертки в процесі експлуатації.

Параметри P_{max} та P_{min} визначають експериментально обробивши невелику пробну партію деталей (3...5 деталей). Співвідношення N до L приблизно як 1:3.



остання, чистова розвертка під конус Морзе

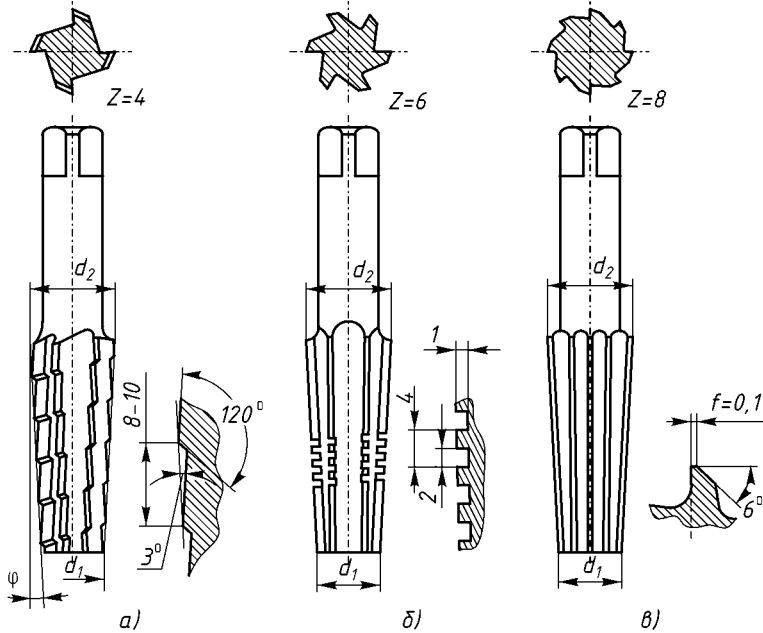


Рис. 15.14. Конічні розвертки Морзе

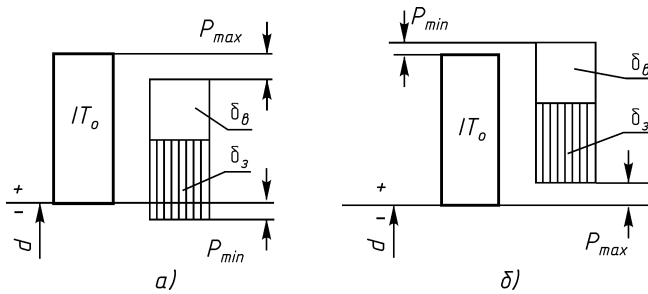


Рис. 15.15. Допуски розвертки

Треба відзначити, що параметри P_{max} та P_{min} розбиття отвору залежать від досить значної кількості факторів. Насамперед це характеристики рідини яку використовують під час роботи розвертки. Найкращий склад цієї рідини для застосування при розвертуванні – на основі мастил.

2. Діаметр d_1 зворотного конусу. Калібрувальна частина розвертки має конічну форму – зворотну конусність. Діаметр d_1 меншої частини конусу визначають як

$$d_1 = d_{max} - \frac{1}{3}\delta_v \text{ мм}$$

де d_{max} – найбільший виконавчий розмір розвертки;

δ_v – допуск на виготовлення розвертки.

Інколи у машинних розверток на калібрувальній частині залишають незначну циліндричну ділянку біля забірного конусу інструмента.

3. Діаметр початку заборного конусу $d_{заб}$ залежить від типу розвертки:

— для ручних розверток

$$d_{заб} = d_{max} - (0,2 \dots 0,4)$$

— для машинних розверток

$$d_{заб} = d_{max} - (0,5 \dots 1,0)$$

де d_{max} – найбільший виконавчий розмір розвертки.

4. Кут φ при вершині розвертки залежить від типу розвертки

— для ручних розверток

$$\varphi = 0^\circ 30' \dots 1^\circ 30',$$

— для машинних розверток

$$\varphi = 12^\circ \dots 15^\circ,$$

— для розверток що обробляють глухі отвори

$$\varphi = 45^\circ.$$

У місці стику забірної частини та калібрувальної утворюють плану перехідну криву.

5. Довжина $l_{\text{заб}}$ заборної частини становить

$$l_{\text{заб}} = \frac{D - d_{\text{заб}}}{2} \operatorname{ctg} \varphi + m$$

де $m = 1 \dots 3$ мм (залежно від діаметру розвертки).

6. Довжина $l_{\text{роб}}$ робочої частини розвертки

$$l_{\text{роб}} = (0,8 \dots 7)D.$$

7. Кількість Z зубів розвертки можливо розрахувати

$$Z = 1,5\sqrt{D} + (2 \dots 4)$$

або призначити

D , мм	3...10	10...20	20...30	30...45	45 та більше
Z	6	8	10	12	14

8. Задній кут α залежить від типу розвертки:

для чистових розверток	$\alpha = 6 \dots 8^\circ$
для чорнових розверток	$\alpha = 8 \dots 10^\circ$

9. Передній кут γ приймають

для чистових розверток	$\gamma = 0^\circ$
для чорнових розверток	$\gamma = 5 \dots 10^\circ$

10. Інші розміри призначають з конструктивних міркувань.

Приклад 15.1 (Розрахунок розвертки)

Розрахувати діаметральні та основні конструктивні параметри циліндричної ручної розвертки для оброблення заданого отвору. Попередньо експериментально встановлено, що процес розвертування супроводжується розбиттям отвору деталі .

Вихідні дані:

$D = 14$ мм	номінальний діаметр обробленого отвору;
$es = + 0,07$ мм	верхнє відхилення розміру отвору;
$ei = - 0,02$ мм	нижнє відхилення розміру отвору;
$P_{\text{max}} = + 0,006$ мм	найбільша величина розбивки отвору;
$P_{\text{min}} = + 0,003$ мм	найменша величина розбивки отвору.

Рішення:

1. Виконавчі розміри розвертки.

1.1. Найбільший виконавчий діаметр d_{max} розвертки

$$d_{max} = D + es - P_{max} = 20 + 0,07 - 0,006 = 20,064 \text{ мм.}$$

1.2. Найменший попередній діаметр $d_{min}^{поп}$ розвертки (без врахування допуску на знос розвертки в процесі її експлуатації)

$$d_{min}^{поп} = D + ei - P_{min} = 20 + -0,02 - 0,003 = 19,977 \text{ мм.}$$

1.3. Допуск на розвертування Δ

$$\Delta = d_{max} - d_{min}^{поп} = 20,064 - 19,977 = 0,087 \text{ мм.}$$

1.4. Допуск на виготовлення розвертки δ_b

$$\delta_b = \Delta \frac{1}{3} = 0,087 \cdot \frac{1}{3} = 0,029 \text{ мм.}$$

1.5. Найменший виконавчий діаметр d_{min} розвертки

$$d_{min} = d_{max} - \delta_b = 20,064 - 0,029 = 20,035 \text{ мм.}$$

2. Діаметр початку заборного конусу $d_{заб}$ залежить від типу розвертки (для ручних розверток)

$$d_{заб} = d_{max} - (0,2 \dots 0,4) = 20,064 - 0,3 = 19,764 = 19,7 \text{ мм.}$$

3. Кут φ заборного конусу при вершині ручної розвертки

$$\varphi = 1^\circ 30'.$$

4. Довжина $l_{заб}$ забірної частини становить

$$\begin{aligned} l_{заб} &= \frac{D - d_{заб}}{2} \operatorname{ctg} \varphi + m = \\ &= \frac{20 - 19,7}{2} \operatorname{ctg} 1^\circ 30' + 3 = 8,73 = 9 \text{ мм} \end{aligned}$$

де $m = 1 \dots 7$ мм “запас довжини” (залежно від діаметру розвертки).

5. Довжина $l_{роб}$ робочої частини розвертки

$$l_{\text{роб}} = (0,8 \dots 7)D = 3 \cdot 20 = 60 \text{ мм.}$$

6. Кількість Z зубів розвертки можливо розрахувати

$$Z = 1,5\sqrt{D} + (2 \dots 4) = 1,5\sqrt{20} + 3 = 12,7 \approx 12$$

7. Задній кут α для чистової розвертки

$$\alpha = 6 \dots 8^\circ = 7^\circ$$

8. Передній кут γ для чистової розвертки

$$\gamma = 0^\circ$$

9. Інші розміри призначають з конструктивних міркувань.

15.5 Елементи режимів різання

Елементи різання при розвертуванні представлені на рис. 15.16. У наведених нижче математичних залежностях прийняті такі умовні позначення¹²

D – діаметр розвертки, мм;

T – прийнятий період стійкості розвертки;

s – подача, мм/об;

t – глибина різання, мм;

Z – кількість різальних елементів;

φ – кут у плані (половина кута заборного конусу);

HB – твердість матеріалу деталі.

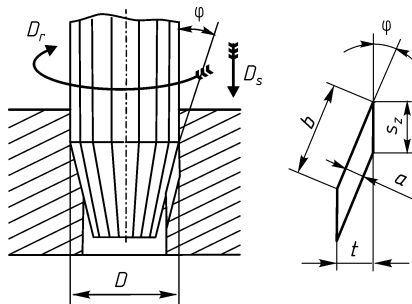


Рис. 15.16. Елементи розвертування

¹²Усі коефіцієнти у формулах наведених в цьому розділі, відносяться до випадку оброблення конструкційних сталей зенкерами із інструментальної сталі.

1. Подача розвертування s , мм/об

$$s = 0,12 D^{0,7}.$$

2. Подача на одне лезо s_z , мм

$$s_z = \frac{s}{Z}.$$

3. Швидкість різання v , м/хв

$$v = \frac{1310 D^{0,3}}{T^{0,4} s^{0,65} t^{0,2} HB^{0,9}}.$$

Рекомендований період стійкості T при обробленні конструкційних сталей

D , мм	17	22	27	32
T , хв	45	55	70	85

4. Частота обертання n , об/хв

$$n = \frac{1000 v}{\pi D}.$$

5. Глибина різання t при розвертуванні, мм

$$t = \frac{D - D_0}{2}.$$

Рекомендовані значення глибини різання при розвертуванні (припуск на сторону)

D , мм	5-10	11-15	15-30	30-50
t , мм	0,075	0,1	0,125	0,15

6. Товщина a шару зрізаного матеріалу. Визначається у напрямі перпендикулярному до різальної кромки, мм

$$a = s_z \sin \varphi = \frac{s}{Z} \sin \varphi.$$

7. Ширина зрізу b вимірюється вздовж різальної кромки і дорівнює її довжині, мм

$$b = \frac{t}{\sin \varphi} = \frac{D - D_0}{2\varphi}.$$

8. Площа поперечного перерізу f_z , що припадає на одну різальну кромки, мм^2

$$f_z = ab = \frac{s}{Z} \sin \varphi \frac{t}{\sin \varphi}.$$

9. Загальна площу f зрізу, що припадає на обидва різальних леза свердла, мм^2

$$f = Z f_z = \frac{s(D - D_0)}{2}.$$

10. Крутний момент для розвертування не визначають так як він незначний

Приклад 15.2 (Розвертування, рижими)

Розрахувати елементи режимів різання для розвертування отвору розверткою із інструментальної сталі у деталі із конструкційної сталі. Застосовується змащувально-охолоджувальна рідина.

Вихідний дані:

$D = 20 \text{ мм}$ діаметр розвертки;

$\varphi = 15^\circ$ кут у плані при вершині розвертки;

$Z = 6$ кількість лез;

$T = 50 \text{ хв}$ прийнятий період стійкості розверки;

$\text{HB} = 150$ твердість матеріалу деталі
($\text{Rm} = 510 \text{ Н/мм}^2$).

Рішення:

1. Подача розвертування s

$$s = 0,12 D^{0,7} = 0,12 \cdot 20^{0,7} = 0,97 \text{ мм/об.}$$

2. Подача на одне лезо s_z

$$s_z = \frac{s}{Z} = \frac{0,97}{6} = 0,16 \text{ мм.}$$

3. Глибина різання t при розвертуванні

$$t = 0,125 \text{ мм.}$$

Рекомендовані значення глибини різання при розвертуванні (припуск на сторону)

$D, \text{ мм}$	5-10	11-15	15-30	30-50
$t, \text{ мм}$	0,075	0,1	0,125	0,15

4. Швидкість різання v , м/хв

$$v = \frac{1310 D^{0,3}}{T^{0,4} s^{0,65} t^{0,2} HB^{0,9}} = \frac{1310 \cdot 20^{0,3}}{50^{0,4} 0,97^{0,65} 0,125^{0,2} 150^{0,9}} = 11,4.$$

Рекомендований період стійкості T при обробленні конструкційних сталей

$D, \text{ мм}$	17	22	27	32
$T, \text{ хв}$	45	55	70	85

5. Частота обертання n

$$n = \frac{1000 v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 11,4}{\pi 20} = 181 \text{ об/хв.}$$

6. Товщина a шару зрізаного матеріалу. Визначається у напрямі перпендикулярному до різальної кромки

$$a = s_z \sin \varphi = \frac{s}{Z} \sin \varphi = \frac{0,97}{6} \sin 15^\circ = 0,042 \text{ мм.}$$

7. Ширина зрізу b вимірюється вздовж різальної кромки і дорівнює її довжині

$$b = \frac{t}{\sin \varphi} = \frac{0,125}{\sin 15^\circ} = 0,48 \text{ мм.}$$

8. Площа поперечного перерізу f_z , що припадає на одну різальну кромку

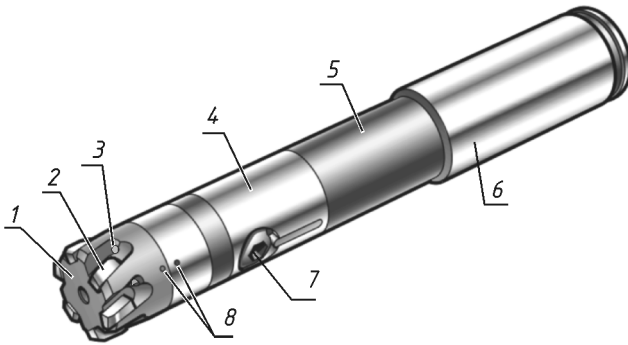
$$f_z = ab = \frac{s}{Z} \sin \varphi \frac{t}{\sin \varphi} = \frac{0,97}{6} \sin 15^\circ \frac{0,125}{\sin 15^\circ} = 0,02 \text{ мм}^2.$$

9. Загальна площа f зрізу, що припадає на обидва різальних леза свердла

$$f = Z f_z = 6 \cdot 0,02 = 0,12 \text{ мм}^2.$$

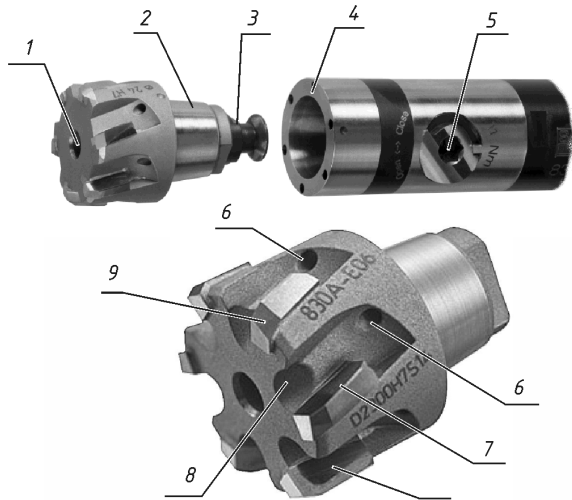
10. Крутий момент для розвертування не визначають так як він незначний.

15.6 Додаткові відомості



Розвертка корпорації Sandvik Coromant
[Sandvik Coromant]

- 1 – змінний різальний модуль, має різні розміри та різні різальні елементи;
- 2 – різальні елементи з механічним кріпленням (зазвичай гвинтом);
- 3 – отвір для подачі змащувальної рідини, котра видаляє стружку із стружкових канавок та запобігає її пакетуванню;
- 4 – змінний перехідний модуль (може мати різну довжину залежно від форми деталі);
- 5 – постійний приймальний модуль (модуль мінімальної довжини, може закріпити безпосередньо різальний модуль);
- 6 – циліндричний хвостовик з канавкою на кінці, котра призначена для утримування інструмента при його автоматизованому транспортуванні;
- 7 – елемент кріплення фіксує між собою різальний та перехідний модулі;
- 8 – маркери для суміщення різального та перехідного модулів.



Розвертка корпорації Sandvik Coromant
[Sandvik Coromant]

- 1 – змінний різальний модуль;
- 2 – конічний хвостовик;
- 3 – кільцева проточка для закріплення змінного модулю;
- 4 – отвори для подачі змащувальної рідини;
- 5 – гвинт, що входить у проточку 3 та закріплює розвертку;
- 6 – отвір у змінному модулі для подачі змащувальної рідини;
- 7 – змінна різальна пластина із твердого сплаву;
- 8 – запобіжна канавка;
- 9 – задня поверхня заборного конусу.

15.7 Питання для самоконтролю

1. Опишіть призначення розверток.
2. Опишіть основні конструкційні елементи стандартної циліндричної розвертки..
3. Чому дорівнює передній кут розвертки на її забірній частині?
4. Чому дорівнює задній кут розвертки на забірній частині?
5. Чому дорівнює задній кут на калібрувальній частині?
6. Яке призначення має циліндрична фаска на калібрувальній частині?
7. Яку ширину (орієнтовно) має калібрувальна фаска?
8. У чому різниця між машинною та ручною розвертками?
9. Чому ручна розвертка має малий кут забірного конуса?
10. Навіть причини через які утворюється гранка обробленого отвору.
11. По якій поверхні переточують розвертку для поновлення її працездатності?
12. Що калібрує калібрувальна частина розвертки?
13. Коли застосовують розвертки із гвинтовим зубом?
14. Чому зубці розвертки мають нерівномірний кутовий крок?
15. Опишіть конструкцію розверток змінного діаметру.
16. Яка розвертка має більший кут забірного конуса, машинна чи ручна?
17. Яку основне призначення регульованих розверток?
18. Що регулюють у розверток регульованої конструкції?
19. Чому для оброблення конусу Морзе застосовують комплект розверток?

Частина VI

ФРЕЗЕРУВАННЯ

16 ФРЕЗИ

Історично фреза з'явилась у Франції, як інструмент для гравірування медальйонів. За формою перша фреза нагадувала полуницю, звідки і пішла її назва від французького *fraises* – *полуниця*.

Фреза цієї форми в теперішній час відома як шарошка, її застосовують під час ручного оброблення.

Термін “фреза” застосовується відносно недавно. До середини XX століття фрезу називали – “фрезер”.

Фреза

Лезовий інструмент для оброблення обертальним головним рухом різання інструмента без зміни радіуса траєкторії цього руху і хоч би з одним рухом подавання, напрям якого не збігається з віссю обертання

Процес фрезерування суттєво відрізняється від інших видів оброблення різанням. На рис. 16.1 подано схематичне зображення фрезерування площини циліндричною фрезою. Кожний зуб фрези по чергову вступає в роботу і зрізує припуск 5 змінної товщини.

Отже, процес фрезерування є дискретний процес в якому різання відбувається дискретно. Одночасно з цим товщина шару, що зрізується теж безперервно та дискретно змінюється.

Заготовка 4 рухається прямолінійно в напрямку перпендикулярному до осі фрези. У свою чергу фреза 2 обертається навколо своєї осі утворюючи оброблену поверхню 1.

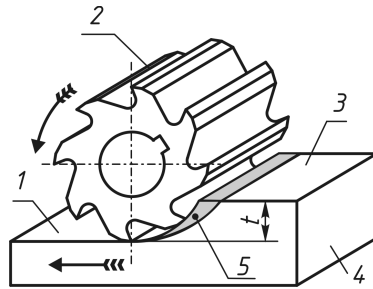


Рис. 16.1. Оброблення фрезеруванням

Прямолінійний рух заготовки це рух подачі (кажуть заготовка рухається з такою-то подачею). В процесі фрезерування фреза зрізає припуск величиною t .

Кожен наступний зуб фрези за цикл різання обертається навколо осі інструмента та видаляє припуск t (товщина зрізуваного шару). Отже, процес різання при фрезеруванні є дискретним, адже кожний її зуб по чергову вступає в роботу (процес різання).

При роботі циліндричної фрези діаметр інструмента (кажуть ширина фрезерування) зазвичай більший ніж ширина оброблюваної заготовки.

Особливність фрезерування

- процес різання є дискретний із повторюванням (циклічний);
- товщина зрізу змінюється від нуля до максимуму.

Процес фрезерування може бути здійснений при будь-якій орієнтації осі фрези (рис. 16.2).

Розрізняють фрезерні верстати з горизонтальним 1 розташуванням шпинделю, або з вертикальним 3. Відповідно фреза 2 у робочому стані орієнтована горизонтально або вертикально.

У сучасних верстатів з числовим програмним керуванням орієнтація шпинделю взагалі може будь-якою. Це дозволяє обробляти на фрезерних верстатах дуже складні фасонні просторові деталі.

Деталь 7 закріплена на столі фрезерного верстату, котрий може переміщуватись у трьох напрямках;

- у поперечному напрямі 4 відносно основи;
- у поздовжньому напрямі, зазвичай це основний напрям руху під час оброблення деталі;
- та вертикальний напрям 5.

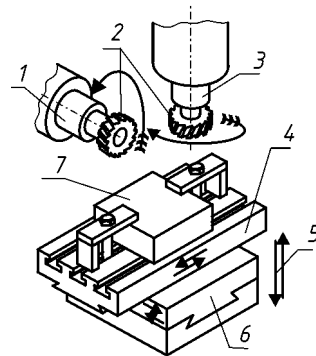


Рис. 16.2. Фрезерування

Отже, стіл верстата разом із деталлю може переміщуватись по трьох координатах. Загалом, сучасні верстати мають до 5 координат.

16.1 Класифікація

Серед різальних інструментів фрези відрізняються найбільшим різноманітним типів, форм та призначенням (рис. 16.5):

- 1 – фреза циліндрична;
- 2...4 – фрези торцеві;
- 5 – фреза дискова косозуба;
- 6 – фреза дискова прямозуба (пазова);
- 7...9 – фрези кінцеві (пальцеві);
- 10 – фреза шпонкова кінцева;
- 11 – фреза шпонкова дискова;
- 12 – фреза Т-подібна;
- 13 – фреза для ластівкового пазу;
- 14 – фреза кутова дискова;
- 15 – фреза дискова фасонна;
- 16 – набір фрез.

16.2 Призначення фрез

Циліндричні фрези

Історично циліндричні фрези з'явилися одніми з перших. Особливістю конструкції циліндричних фрез є розташування головних різальних кромки на циліндрі, вісь якого співпадає з віссю обертання інструмента, яка є паралельною до оброблюваної поверхні (рис. 16.3).

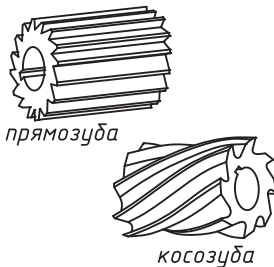


Рис. 16.3. Фреза цільна циліндрична



Рис. 16.4. Фреза збірна циліндрична [Sandvik Coromant]

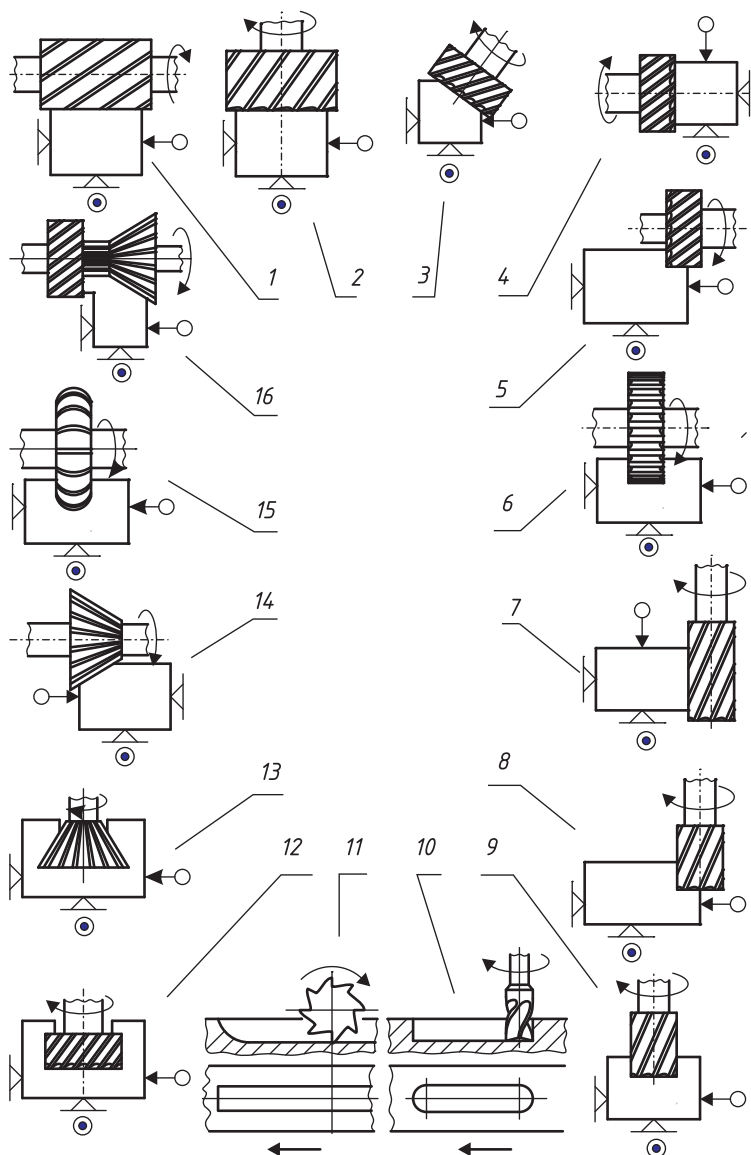


Рис. 16.5. Типи фрез

На відміну від інших інструментів фрези мають дискретний характер процесу різання (зрізування шару припуску).

Фреза (рис. 16.6) обертається навколо своєї осі утворюючи рух різання D_r . Одночасно з цим деталь рухається під фрезою маючи рух подачі D_s . Таким чином, при повороті фрези на один зуб вона переміщується на величину s_z названу подачею на зуб.

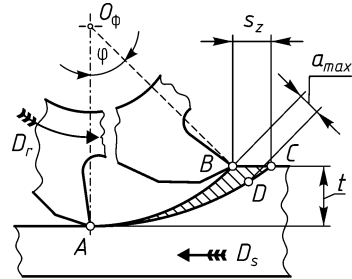


Рис. 16.6. Робота фрези

Під час роботи зуб фрези врізається в заготовку в точці A і виходить у точці C . Отже, процес різання відбувається дискретно, товщина зрізуваного шару припуску поступово змінюється від нуля (у точці A) до максимальної величини a_{max} (у точці D)

$$a_{max} = s_x \sin \varphi$$

де φ – кут контакту між фрезою та заготовкою.

Для зниження коливань сил різання і вібрацій, зуби циліндричних фрез часто виконують гвинтовими. Таку фрезу називають козубою.

В теперішній час цільні циліндричні фрези майже не мають застосування, їх витіснили фрези збірної конструкції оснащені пластинами твердого сплаву за рис. 16.4.

Торцеві фрези

У торцевих фрез (рис. 16.7) вісь обертання розташована перпендикулярно до оброблюваної поверхні. При цьому, окрім головних різальних кромок, що знаходяться на циліндричній поверхні, на торці фрези є допоміжні різальні кромки.

Торцеві фрези, як правило, виготовляють насадними. Вони широко використовуються при обробленні плоских поверхонь, у тому числі ступінчастих, які неможливо обробити циліндричними фрезами.

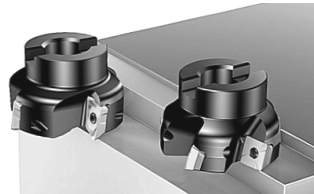


Рис. 16.7. Фреза торцева
[Sandvik Coromant]

Порівняно із циліндричними фрезами, торцеві фрези мають наступні переваги:

- конструкція торцевих фрез дозволяє розмістити більшу кількість зубців на довжині контакту із заготовкою, що забезпечує продуктивність і рівномірне фрезерування;
- торцеві фрези можна виготовляти із масивними корпусами та надійним кріпленням різальних елементів;
- при фрезеруванні площин можна отримувати нижчу шорсткість, за рахунок великої кількості допоміжних різальних кромок на торці фрези.

Завдяки цим перевагам торцеві фрези, у порівнянні з циліндричними, знайшли найбільше застосування в сучасній металообробній промисловості.

Дискові фрези

На відміну від циліндричних, дискові фрези призначені для оброблення вузьких поверхонь і мають багато різновидів (рис. 16.8).

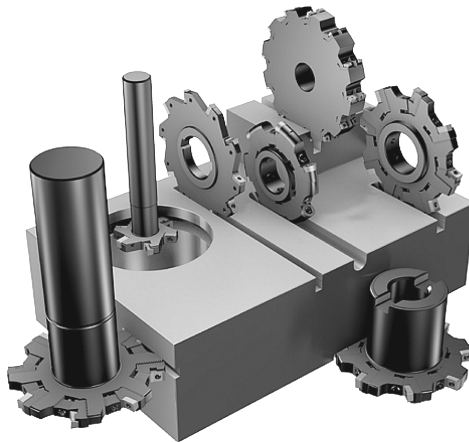


Рис. 16.8. Різновиди дискових фрез
[Sandvik Coromant]

Дискові фрези працюють у важких умовах стислого різання, що часто супроводжується вібраціями, через малу жорсткість корпусів фрез і несприятливі умови відведення стружки із зони різання.

Сучасні дискові фрези виготовляють збірними, оснащеними пластинами твердого сплаву (рис. 16.9). Різальні елементи розташовані в шаховому порядку, тобто є праві та ліві пластини (рис. 16.10).



Рис. 16.9. Фреза дискова збірна
[Sandvik Coromant]

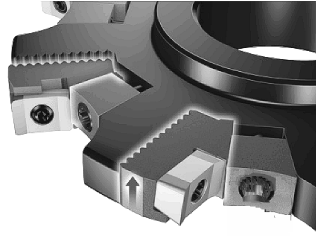


Рис. 16.10. Кріплення різальної
пластини
[Sandvik Coromant]

Цільні дискові фрези, залежно від їх призначення, бувають одно- та три-сторонні (рис. 16.11).

Дискові односторонні фрези (рис. 16.11,а) мають різальну кромку K тільки на зовнішній стороні зубу. Це погано, адже задні кути на бічних сторонах зубу дорівнюють нулю і він "затирає" по бічних сторонах.

Дискових двосторонні фрези (рис. 16.11,б) мають дві різальні кромки зубів, на циліндричній та одній боковій поверхні. Такі фрези використовують для утворення уступів. Для утворення пазів вони не придатні через затирання по стороні, що не має додатних бокових кутів.

Дискових трибічні фрез (рис. 16.11,в) мають на кожному зубці три різальні кромки – одну на зовнішній циліндричній і дві на бічних сторонах. Така конструкція дозволяє мати на всіх сторонах інструмента додаткові задні кути.

Для покращення плавності роботи трибічні дискові фрези виготовляють з різноспрямованими зубцями (рис. 16.11,г), що дозволяє створити на бічних різальних кромках додатні передні кути. Змінні ножі виготовляють зі швидкорізальної сталі з кріпленням у клино-подібних пазах за допомогою рифлень.

Загалом всі дискові фрези працюють у важких умовах невірного різання, що ускладнює їх роботу.

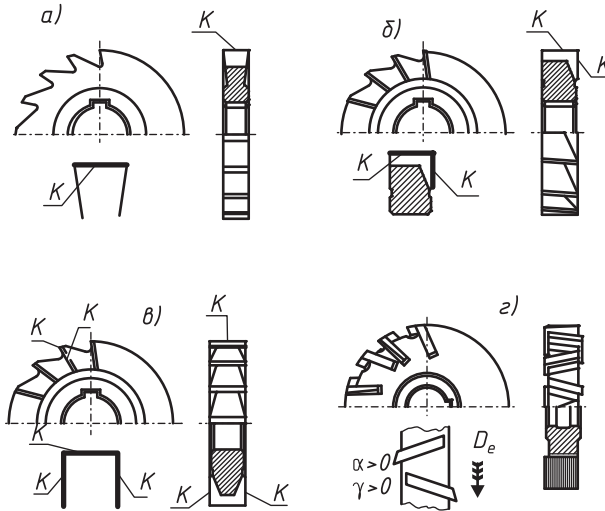


Рис. 16.11. Цільні дискові фрези

Прорізні фрези

Для утворення вузьких пазів (шириною від 0,5 мм) застосовують "пазові" (прорізні) фрези (рис.16.12) точні по ширині. Зовні вони подібні до дискових фрез, але мають меншу довжину головних різальних кромки (меншу товщину).

Для того, щоб фрези не затискали у вузькому пазу, їх виконують з боковим піднутренням величиною $1 \dots 2^\circ$

Допоміжні різальні кромки на торцях створюють заточуванням з кутом у плані $\varphi = 10 \dots 12^\circ$. Стружкові канавки в них нарізують тільки на циліндричній частині.

Дискові прорізні фрези досить часто застосовують, як відрізни для відрізання заготовки від довгого прута. У такому випадку їх виконують досить великого діаметра – до 2 метрів. Щоб зберегти дорогий інструментальний матеріал фрези роблять збірними – сама фреза із сталі 40Х, а зубці з інструментальної сталі типу Р6М5. Зубці кріплять механічним способом – клепають.

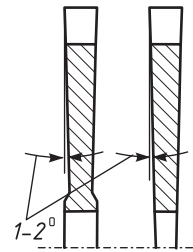


Рис. 16.12. Фреза прорізна

Кутові фрези

Для утворення в інструменті прямих стружкових канавок застосовують кутові фрези (рис. 16.13). Їх виготовляють, як правило цілісними, а фрези невеликих діаметрів іноді мають хвостики.



Рис. 16.13. Фреза дискова кутова
(для утворення кутових
стружкових канавок)



Рис. 16.14. Фреза дискова фасонна
(для утворення фасонних
стружкових канавок свердла)

Головні різальні кромки в однокутних дискових фрез розташовані на поверхні усіченого конуса, а у двокутних – на поверхні двох суміжних конусів. На рис. 16.13 зображена саме двокутна дискова фреза. Вона має дві сторони різальних кромки – ліву (більшу) та праву (меншу).

Кутові фрези використовують в основному, як інструменти другого порядку для нарізування канавок у багатозубих інструментах, наприклад фрез, розверток та ін., а також для обробки різних пазів, скосів і похилих поверхонь.

Фасонні фрези

Для утворення циліндричних фасонних поверхонь застосовують дискові фасонні фрези (рис. 16.14).

Фасонні фрези є тілами обертання, на зовнішній поверхні, яких розташовуються зуби з найрізноманітнішими за формою різальними кромками. Вони працюють так само, як дискові і кутові фрези і призначені для фрезерування опуклих або увігнутих фасонних зовнішніх поверхонь, а також прямих або гвинтових канавок.

Кінцеві фрези

Для утворення пазів та оброблення контурів застосовують кінцеві фрези (рис.16.15), які мають дві різальні кромки. Головні різальні кромки, що виконують основну роботу по видаленню припуску, як і в торцевих фрез, розташовані на циліндричній поверхні, а допоміжні (що зачищають) – на торці фрези.

Кінцеві фрези відрізняються від торцевих тим, що мають діаметр менший ніж висоту. Зубці виготовляють зазвичай гвинтовими, з кутом нахилу до осі $\omega = 25...35^\circ$.

Таке велике значення кута, за наявності великих об'ємів стружкових канавок, забезпечує надійне відведення стружки із зони різання, навіть за дуже несприятливих умов різання. З цієї причини кількість різальних зубів у кінцевих фрез значно менша, ніж у торцевих фрез. Однак, зниження продуктивності компенсується за рахунок збільшення подачі на зуб.

Хвостовики кінцевих фрез або циліндричні ($d = 3...20$ мм), або конічні з конусом 7:24. Кріплення фрез у шпинделі верстата при циліндричному хвостовику здійснюється за допомогою цангових патронів, а при конічному хвостовику, що має внутрішню різьбу – штрелелем (натяжним болтом), що проходить через отвір у шпинделі верстата.



Рис. 16.15. Фреза кінцева
[TaeguTec]

Шпонкові фрези

Для утворення пазів під стандартні шпонки застосовують стандартні шпонкові фрези (рис.16.16).

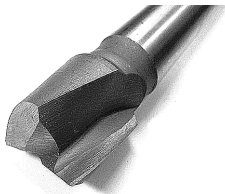


Рис. 16.16. Фреза шпонкова
[Sandvik Coromant]



Рис. 16.17. Зубці шпонкової фрези
[Sandvik Coromant]

На відміну від кінцевих фрез шпонкові фрези мають тільки два зуби (рис. 16.17). Довжина їх робочої частини дорівнює приблизно трьом діаметрам фрези.

Особливість умов роботи шпонкових фрез полягає в тому, що паз під шпонку вони обробляють за декілька проходів (рис. 16.18).

У кінці кожного проходу здійснюється врізання на глибину шляхом вертикальної подачі уздовж осі фрези. Цю роботу виконують різальні кромки розташовані на торці фрези.

Щоб уникнути одночасного значного збільшення осової складової сили різання, у швидкохідних фрез роблять підгострювання поперечної кромки, як у свердел.

Переточують шпонкові фрези по задніх поверхнях торцевих кромок. Отже, діаметр фрези зберігається незмінним, що необхідно для забезпечення незмінності розміру стандартного паза.

Діаметр $d_{\text{ш}}$ шпонкових фрез стандартизований. Він залежить від діаметру D вала в якому утворюють шпонковий паз:

D , мм	8	10	12	16	22	27	32	40	50	63
$d_{\text{ш}}$, мм	2	3	3	4	6	6	8	10	12	14

Фрези для Т-подібних пазів

Для утворення пазів у верстатних столах застосовують фрези двох типів. Спочатку звичайною дисковою фрезою утворюють прямокутний паз потрібної глибини та ширини, а потім Т-подібною фрезою (рис. 16.19) оформлюють його кінцеву форму. Це зменшує навантаження на інструмент.

Фрези Т-подібного профілю працюють у важких умовах і часто ламаються через пакетування стружки. Для поліпшення її відведення такі фрези роблять із різноспрямованими зубами і з піднутренням на торцях.

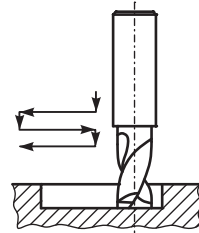


Рис. 16.18.
Утворення паза

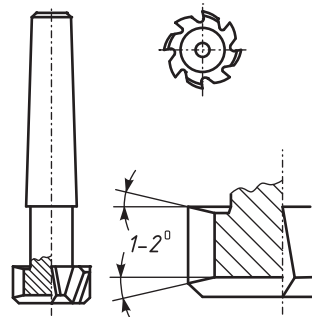


Рис. 16.19. Т-подібна фреза

16.3 Набори фрез

Набір фрез є групою фрез, підібраних за профілем і розмірами обробленої поверхні деталі і закріплених на одній, загальній для всіх фрез, оправці (рис.16.20).

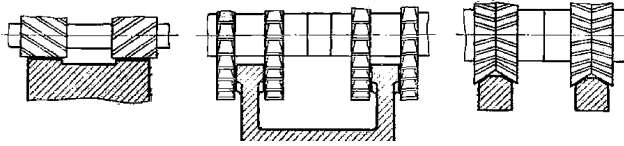


Рис. 16.20. Набори фрез
[Родин П.Р. *Металлорежущие инструменты.*
Киев, 1974. – 399 с.]

При цьому одночасно обробляється декілька поверхонь однієї або декількох заготовок. Скорочення числа операцій, установок і переходів підвищує продуктивність. Застосування наборів фрез забезпечує також вищу точність і якість деталей, в порівнянні з обробкою окремими фрезами.

Проектування набору

При проектуванні набору фрез задають діаметр найменшої фрези, а діаметри інших фрез визначають виходячи з розмірів і взаємного розташування оброблюваних поверхонь. Слід уникати великої різниці в діаметрах фрез, оскільки в цьому випадку неможливо забезпечити для усіх фрез набору доцільні режими різання. Одночасно з цим складно забезпечити діаметри посадкових отворів для усіх фрез, що складають набір.

Для розташування фрез на оправці й забезпечення необхідної відстані між ними, користуються настановними кільцями різної ширини. Кільця можуть бути регульовані й нерегульовані. Регульовані кільця дозволяють без знімання фрез з оправки міняти відстань між ними, що усуває необхідність застосування точених жорстких настановних кілець.

Плавна робота набору досягається спеціальною установкою зубів фрез один відносно одного. Для цього шпонкові канавки у фрезах розташовуються так, щоб вони були зміщені по відношенню до зуба на різні кути. У результаті цього зуби окремих фрез входять у роботу в різні моменти часу.

В інструментальному виробництві набори фрез знаходять застосування при фрезеруванні стружкових канавок мітчиків, розверток і інших інструментів.

16.4 Конструктивні параметри

До загальних конструктивних параметрів фрез відносяться:

- діаметр фрези;
- посадкові розміри (діаметр отвору, паз шпона);
- кількість зубів;
- форма зубів.

Зовнішній діаметр

Зовнішні діаметри D_{ϕ} фрез стандартизовані, їх ряди представляють геометричну прогресію із знаменником $k = 1,26$ або $k = 1,58$. Початковим значенням у цих рядах є 63, тобто $D_{\phi} = 63$ мм.

Для $k = 1,26$ маємо такий ряд діаметрів D_{ϕ} , мм:

3	4	6	8	10	12	16	20	25
32	40	50	63	80	100	125	160	200

Для $k = 1,58$ маємо такий ряд діаметрів D_{ϕ} , мм:

4	6	10	16	25	40	63	100	160	250
---	---	----	----	----	----	----	-----	-----	-----

Посадковий отвір

Діаметр d_o посадкового отвору залежить від зовнішнього діаметра фрези і дорівнює $d_o = D_{\phi}/2,25$ мм, який округляється до стандартних значень:

16	22	27	32	40	50	60
----	----	----	----	----	----	----

Співвідношення діаметрів

Між діаметром посадкового отвору d та зовнішнім діаметром D_{ϕ} фрез існує залежність, обумовлена необхідністю передачі крутного моменту, тому доцільно дотримуватись співвідношень:

- для циліндричних фрез:

d , мм	16	22	27	32	40	50	60
D_{ϕ} , мм	40	50	60	75	110	130	150

- для дискових та торцевих фрез:

d , мм	16	22	27	34	40	50
D_{ϕ} , мм	40	50	60...75	90...110	130	150...225

Кількість зубців

(1). Коли конкретні умови використання інструмента невідомі, кількість зубців Z фрези можна прийняти залежно від її діаметра D_ϕ та призначення (розраховане значення округлити до парного):

чорнова	універсальна	чистова
$Z = 1,25\sqrt{D_\phi}$	$Z = 1,5\sqrt{D_\phi}$	$Z = 1,75\sqrt{D_\phi}$

Приклад 16.1 (Фрези. Кількість зубців #1)

Визначити кількість зубців для чорнової, універсальної та чистої фрези.

Вихідний дані:

$D_\phi = 75$ мм зовнішній діаметр фрези.

Рішення:

– чорнова фреза	$Z = 1,25\sqrt{75} = 10,83 = 10$
– універсальна фреза	$Z = 1,5\sqrt{75} = 12,99 = 12$
– чистова фреза	$Z = 1,75\sqrt{75} = 15,16 = 16$

(2). При проектуванні фрез для конкретних умов роботи, кількість зубців Z доцільно розрахувати за формулою:

$$Z = \frac{C_z D_\phi}{t_{max}^{0,5} S_{zmax}^{0,5}}$$

де C_z – для торцевих фрез $C_z = 0,6$; для всіх інших $C_z = 0,2$;

D_ϕ – зовнішній діаметр фрези;

t_{max} – найбільша глибина різання;

S_{zmax} – найбільша подача на зуб.

Приклад 16.2 (Фрези. Кількість зубців #2)

Визначити кількість зубців дискової фрези.

Вихідний дані:

$C_z = 0,2$ коефіцієнт;

$D_\phi = 75$ мм зовнішній діаметр фрези;

$t_{max} = 5$ мм найбільша глибина різання;

$s_{maz} = 0,3$ мм/зуб подача на зуб.

Рішення:

1. Розрахункова кількість зубців фрези

$$Z = \frac{C_z D_{\phi}}{t_{max}^{0,5} S_z^{0,5}} = \frac{0,2 \cdot 75}{5^{0,5} 0,3^{0,5}} = 12,247.$$

2. Прийнята кількість зубців фрези $Z = 12$.

3. За спрощеною формулою $Z = 1,5\sqrt{D_{\phi}}$ отримуємо

$$Z = 1,5\sqrt{75} = 12,990.$$

4. Як бачимо результати збігаються. Отже $Z = 12$ зубців.

Нахил зубців

Для забезпечення рівномірності фрезерування (під час роботи фрези) зуби фрези розташовані під кутом ω нахилу зуба відносно осі інструмента:

Тип фрези	ω°
циліндрична	20... 30
кінцева	30... 40
шпонкова	15
дискова	10... 15
торцева	10

Форма зуба

Для фрез будь-якого типу застосовують три форми профілю різального зуба.

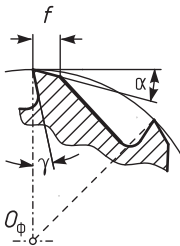


Рис. 16.21. Простий зуб

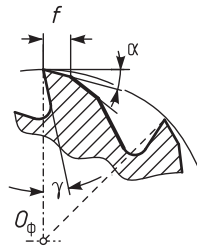


Рис. 16.22. Посилений зуб

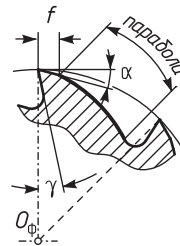


Рис. 16.23. Рівномірний зуб

Зуби фрези повинні мати достатню міцність, забезпечувати максимально можливу кількість переточувань, мати простір для розміщення стружки.

Простий зуб

Це найпростіша форма зубу (рис.16.21). Задня поверхня виконана як дві прямі. Позитивним є те, що він простий у виготовлення. Недоліком є те, що він занадто тонкий у своїй основі і через це при виникненні значних навантажень такі зубці часто ламаються. Застосовують для простого інструмента.

Посилений зуб

Має посилену (товстішу) нижню частину (рис.16.22). Він витримує більші навантаження, але складніший у виготовлення. Зуб такої форми застосовують у високопродуктивних фрез, які працюють з високими навантаженнями. Здебільшого це фрези для чорнового оброблення.

Рівноміцний зуб

Вперше було застосовано в Америці (рис.16.23) тому іноді його називають “американським”. Відмінність цього зубу в тому, що задня поверхня криволінійна – вона повторює рівноміцну балку. Зуб такої форми має найбільшу міцність, але досить дорогий у виготовленні.

Зауваження. Всі перелічені форми зубців об’єднані в одну групу, вони називаються “гострозаточені зубці”. Ця назва пов’язана з тим, що задня поверхня зубу має фаску f , котра окреслена прямою лінією.

Зауваження. Термін “гострозаточені” не означає, що ці фрези гострі, а всі інші тупі. Всі фрези мають гостру різальну кромку (різальне лезо). На протилежність гострозаточеним фрезам існують “затіловані” фрези, які розглядають у розділі 16.6.

16.5 Геометричні параметри

Геометричні параметри фрези залежать від її призначення і конструкції. Передній кут γ приймають залежно від властивостей оброблюваного матеріалу:

Матеріал заготовки	γ°
сталь конструкційна	15...20
сталь легована	10...15
чавун ковкий	15
чавун міцний	10

Задній кут α приймають залежно від типу фрези:

Тип фрези	α°
циліндричні та торцеві	12...16
дискові	12...20
кінцеві	14...25
Т-подібні	20...25

Для фрез дискових фасонних (тільки гострозаточених¹):

передній кут	$\gamma = 10^\circ$
задній кут	$\alpha = 10...12^\circ$

16.6 Затиловані фрези

Розрізняють фрези гострозаточені та затиловані. Термін “гострозаточена” фреза не означає, що вона гостра, а всі інші фрези тупі та непрацездатні. Всі фрези однаково працездатні, якщо їх використовують відповідно до технічних умов.

Різницю між формою зубу гострозаточеної та затилової фрези показано на рис. 16.24. Гострозаточена фреза (рис. 16.24,а) має задню поверхню окреслену прямими. Затилова фреза (рис. 16.24,б) має задню поверхню окреслену за спеціальною кривою (по спіралі Архімеда²).

Зовні гострозаточені та затиловані фрези відрізняються тим, що гострозаточені фрези мають передній додатний кут, а затиловані ні.

Поява затилованих фрез обумовлена необхідністю зберегти форму різальної кромки після преточування фрези, що має фасонну різальну кромку.

¹Існують фрези “гострозаточені” – всі розглянуті фрези. Та фрези “затиловані” – котрі будуть розглянуті далі. Гострозаточені та затиловані фрези – це фрези дуже різної геометрії та застосування.

²Насправді затилюють не тільки по спіралі Архімеда. Є фрези затиловані: по логарифмічній спіралі, по колу, по конхоні. Але спіраль Архімеда простіша за інші, хоча і не найкраща.

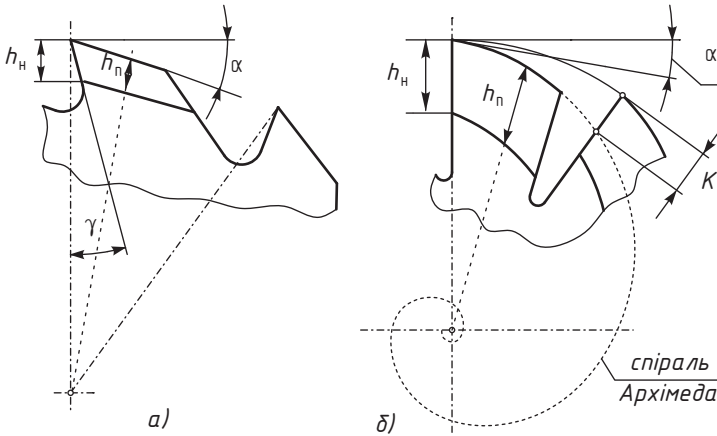


Рис. 16.24. Гострозаточені та затиловані фрези

a – зуб гострозаточеної фрези;

б – зуб затилової фрези;

h_n – висота профілю нової фрези;

h_n – висота профілю переточеної фрези;

K – величина затилювання.

Різницю між гострозаточеними та затилованими фрезами можна пояснити так:

Гострозаточена

Уявіть фасонну різальну кромку. Тепер доторкніться до кромки прямою лінією і обведіть лінії вздовж кромки. Те, що опише пряма лінія в просторі і буде задня поверхня гострозаточеної фрези.

Затилована

Уявіть фасонну різальну кромку. Тепер перемістите кромку в просторі одночасно обертаючи навколо осі фрези та наближаючи до неї – те, що опише кромка і буде задня поверхня затилової фрези.

Отже, постає питання – навіщо виготовляти затиловані фрези, коли є простіші гострозаточені? Відповідь у тому, що фасонні фрези (як і всі інші) необхідно час від часу переточувати, а фасонні гострозаточені фрези мають дві проблеми.

Проблема 1

Якщо гострозаточену фрезу переточити по передній поверхні, то висота її профілю зміниться (що видно з рис. 16.24,а). Тобто висота переточеного профілю h_p відрізняється від висоти h_n нової (не переточеної) фрези. Отже, переточена фреза не забезпечить той же профіль деталі, що нова.

Проблема 2

Якщо гострозаточену фрезу переточувати по задній поверхні (а вона фасонна) то необхідно мати або фасонний заточний круг, або спеціальний верстат, що дорого.

Рішенні проблеми

Виходом з цього стало застосування фасонних затилованих фрез, задня поверхня яких окреслена по спіралі Архімеда. Якщо затиловану фрезу переточувати по передній (плоскій) поверхні – вона збереже висоту профілю, що видно з рис. 16.24,б.

Особливістю спіралі Архімеда (а задні поверхня затиленої фрези окреслена по спіралі Архімеда) є те, що відстань h (рис. 16.24,б), тобто висота профілю фрези, є незмінною у будь-якому положенні.

Отже, всі фрези котрі були розглянуті раніш – гострозаточені фрези. Далі будемо розглядати фрези затиловані.

Єдина ціль затилювання – зберегти незмінною форму різальної кромки фасонної фрези після її переточування по передній поверхні.

Процес затилювання зубу дискової фасонної фрези можливо представити таким чином (рис. 16.25):

- заготовка фрези 2 рівномірно обертається навколо своєї осі;
- фасонний різець 1 рівномірно рухається до центра фрези.

У такому випадку різальна кромка опише у просторі траєкторії спіралі Архімеда, а висота її фасонного затилованого профілю лишається незмінною в будь-якому січенні. Заточування затилованих фрез можливо виконувати на звичайних заточувальних верстатах без застосування спеціального пристосування.

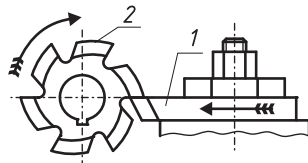


Рис. 16.25. Затилування

Всі затиловані фрези переточують тільки по передній поверхні. А передній кут таких фрез завжди дорівнює нулю. Зубці такої форми мають високу міцність, а по мірі переточування об'єм канавок для розміщення стружки збільшується, що сприятливо позначається на роботі фрези.

Задня поверхня затилованого зубу окреслена по спіралі Архімеда, тому процес оброблення затилованого зубу називають – затилуванням по спіралі Архімеда.

Основною перевагою затилованих фрез є незмінність форми та профілю різальних кромок після переточування фрези по передній поверхні³.

Геометрія затилованої фрези

Задній кут

Задній кут затилованих фрез приймають у межах $8 \dots 10^\circ$. Це дещо менше за оптимальну⁴ величину, але такою є платня за змогу зберегти незмінним профіль фрези після її переточування.

Зауваження. Для затилованих фрез замість величини заднього кута α вказують параметр K , який називають величиною затилування (рис. 16.24,б).

Між величиною затилування K та величиною заднього кута α існує математична залежність:

$$K = \frac{2\pi r}{Z} \operatorname{tg} \alpha,$$

де r – зовнішній радіус фрези;

Z – кількість зубців фрези;

α – прийнятий задній кут.

Приклад 16.3 (Фрези. Затилування)

Розрахувати величину затилування K дискової фрези для заданої величини заднього кута.

³За всіма іншими параметрами затиловані фрези програють гострозаточеним фрезам. Вони мають меншу стійкість та утворюють гіршу поверхню. Але не змінюють свій профіль після переточування.

⁴У даному випадку “оптимальність” процесів різання.

Вихідний дані:

- $r = 37,5$ мм радіус фрези у вершинній точці;
 $Z = 12$ кількість зубів;
 $\alpha = 9^\circ$ задній кут у вершинній точці фрези.

Рішення:

1. Розрахунок величини затилування

$$K = \frac{2\pi r}{Z} \operatorname{tg} \alpha = \frac{2\pi 37,5}{12} \operatorname{tg} 9^\circ = 3,1 \text{ мм.}$$

2. Остаточню приймаємо $K = 3,0$ мм.

Передній кут

Передній кут затілених фрез завжди дорівнює нулю. В іншому випадку вони будуть змінювати свій профіль після переточування⁵.

16.7 Допуски на виготовлення

При відсутності спеціальних вимог до фрез, допуски на відхилення їх основних параметрів не повинні перевищувати нижчеподаних.

1. Фрези циліндричні. Різниця зовнішнього діаметра вздовж осі інструмента:

фрези довжиною до 50 мм	0,03 мм
фрези довжиною більше 50 мм	0,05 мм

2. Фрези торцеві.

- 2.1. Торцеве биття різальних кромок однієї групи:

фрези діаметром до 75 мм	0,03 мм
фрези діаметром більше 75 мм	0,04 мм

- 2.2. Радіальне биття різальних кромок однієї групи:

фрези діаметром до 75 мм	0,05 мм
фрези діаметром більше 75 мм	0,06 мм

3. Фрези дискові. Радіальне биття різальних кромок по зовнішньому діаметру в межах $\begin{smallmatrix} +0,2 \\ -0,1 \end{smallmatrix}$ мм.

⁵ Насправді це не зовсім так. Затілені фрези (особливо у деревообробленні) можуть мати додатний передній кут. Але в такому випадку їх передня поверхня повинна мати складну форму (подібну до спіралі Архімеда), що дуже ускладнює процес їх заточування.

16.8 Елементи режимів різання

Елементи різання при обробленні конструкційних сталей фрезами із інструментальних сталей такі.

1. Подача на зуб s_z при глибині різання 4...8 мм, мм/зуб

Тип фрези	s_z , мм/об
дискові	0,04 – 0,02
торцеві	0,10 – 0,04
циліндричні	0,07 – 0,04
кінцеві	0,08 – 0,01
дискові фасонні	0,08 – 0,05

2. Стійкість T , хв.

2.1. Дискові, торцеві залежно від їх діаметра D , хв

D , мм	30	50	80	100
T , хв	50	70	95	115

2.2. Кінцеві залежно від їх діаметра D , хв

D , мм	до 6	10	15	20	30	40	50
T , хв	10	15	20	25	30	40	60

3. Швидкість різання v , м/хв.

3.1. Фрези торцеві

$$v = \frac{60D^{0,25}}{T^{0,2} t^{0,15} s_z^{0,2} z^{0,1} B^{0,1}}$$

де T – прийнятий період стійкості фрези;

t – глибина різання;

s_z – подача на зуб;

z – кількість зубів фрези;

B – ширина фрезерування.

3.2. Фрези дискові

$$v = \frac{60D^{0,25}}{T^{0,2} t^{0,3} s_z^{0,2} z^{0,1} B^{0,1}}$$

3.3. Фрези кінцеві

$$v = \frac{35D^{0,25}}{T^{0,2} t^{0,3} s_z^{0,3} z^{0,1} B^{0,1}}.$$

Приклад 16.4 (Фрезерування торцеве)

Визначити швидкість різання при фрезеруванні торцевою фрезою.

Вихідний дані:

$D = 75$ мм	діаметр фрези;
$T = 70$ хв	прийнятий період стійкості;
$t = 6$ мм	приуск;
$s_z = 0,06$ мм/зуб	подача на зуб;
$z = 6$	кількість зубів фрези;
$B = 50$ мм	ширина фрезерування.

Рішення:

1. Швидкість різання

$$v = \frac{80D^{0,25}}{T^{0,2} t^{0,15} s_z^{0,2} z^{0,1} B^{0,1}} = \frac{80 \cdot 75^{0,25}}{70^{0,2} 6^{0,15} 0,06^{0,2} 6^{0,1} 50^{0,1}} = 76 \text{ м/хв.}$$

2. Частота обертання за хвилину

$$n = \frac{1000v}{\pi D} = 322 \text{ об/хв.}$$

Приклад 16.5 (Фрезерування дискове)

Визначити швидкість різання при фрезеруванні дисковою фрезою.

Вихідний дані:

$D = 30$ мм	діаметр фрези;
$T = 50$ хв	прийнятий період стійкості;
$t = 6$ мм	приуск;
$s_z = 0,03$ мм/зуб	подача на зуб;
$z = 16$	кількість зубів фрези;
$B = 20$ мм	ширина фрезерування.

Рішення:

1. Швидкість різання

$$v = \frac{60D^{0,25}}{T^{0,2} t^{0,3} s_z^{0,2} z^{0,1} B^{0,1}} = \frac{60 \cdot 30^{0,25}}{50^{0,2} 6^{0,3} 0,03^{0,2} 16^{0,1} 20^{0,1}} = 43 \text{ м/хв.}$$

2. Частота обертання за хвилину

$$n = \frac{1000v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 43}{\pi 30} = 456 \text{ об/хв.}$$

Приклад 16.6 (Фрезерування кінцеве)

Визначити швидкість різання при фрезеруванні кінцевою фрезою.

Вихідний дані:

$D = 30$ мм	діаметр фрези;
$T = 30$ хв	прийнятий період стійкості;
$t = 6$ мм	приуск;
$s_z = 0,05$ мм/зуб	подача на зуб;
$z = 6$	кількість зубів фрези;
$B = 20$ мм	ширина фрезерування.

Рішення:

1. Швидкість різання

$$v = \frac{35D^{0,25}}{T^{0,2} t^{0,3} s_z^{0,3} z^{0,1} B^{0,1}} = \frac{35 \cdot 30^{0,25}}{30^{0,2} 6^{0,3} 0,05^{0,3} 6^{0,1} 20^{0,1}} = 37 \text{ м/хв.}$$

2. Частота обертання за хвилину

$$n = \frac{1000v}{\pi D} = 392 \text{ об/хв.}$$

16.9 Поновлення працездатності

Поновлення працездатності фрез будь-якої конструкції та призначення здійснюють заточуванням. Однак, залежно від типу фрези, заточування здійснюють по різним поверхням.

Циліндричні та кінцеві

Циліндричні та кінцеві фрези заточують по заднім поверхням не залежно від їх форми.

Дискові

Дискові фрези заточують одночасно по переднім та заднім поверхням, котрі у них зазвичай плоскі.

Фасонні гострозаточені

Фасонні гострозаточені фрези заточують по задній поверхні незалежно від їх профілю. На рис. 16.26 наведено кінематичну схему заточування гострозаточених фасонних фрез.

Фреза жорстко зв'язана з копіром 3 через зв'язку 2. Притиснувши копір 3 до лінійки 4 робітник обходить (обкатує) фасонний профіль фрези по копіру навколо заточувального круга. Така схема має, як переваги, так і недоліки:

Переваги	Недоліки
Профіль різальної кромки однаковий для фрези будь-якого діаметру.	Для кожного профілю фрези необхідно мати свій профіль шаблону. Необхідно мати спеціальний загострювальний верстат.

Зауваження. Фасонні гострозаточені фрези застосовують на заводах-виробниках інструмента (ці заводи мають спеціальне устаткування).

Фасонні затиловані

Фасонні затиловані фрези переточують тільки по передній поверхні, котра зазвичай є площиною.

Зауваження 1. Отже, головною різницею між гострозаточеними та затилованими фрезами є те що: затиловані фрези заточують тільки по переднім поверхням, у той час як гострозаточені можна переточувати по будь-якій поверхні (тільки по передній, тільки по задній, одночасно по передній та задній).

Зауваження 2. Фасонні затиловані фрези застосовують споживачі інструмента (вони не мають спеціального устаткування).

Зауваження 3. Єдиним призначенням затилювання є збереження форми (профілю) фасонної різальної кромки після переточування фрези.

Помилка. Твердження, що призначенням затилювання є збереження постійним задній кут фрези є невірним.

По-перше, призначення затилювання – зберегти постійною форму різальної кромки після переточування.

По-друге, у затилованих фрез величина заднього кута змінюється після їх переточування.

Застосування

За всіма розглянутими типами фрез можливо зробити такі висновки відносно галузі їх застосування.

Фрези циліндричні

Циліндричні фрези застосовуються для оброблення широких відкритих поверхонь. Однак, у теперішній час вони поступились торцевим фрезам, які більш продуктивні.

Фрези торцеві

Фрези торцеві використовують для оброблення різного роду відкритих поверхонь. Вісь фрези розміщується під прямим кутом до поверхні, що обробляється. Зубці розташовуються, як на циліндричній, так і на торцевій поверхнях фрези. Характерною особливістю такого типу фрези є те, що на торцевій фрезі розташована більша кількість зубців, ніж на циліндричній. Таким чином, торцева фреза гарантує більш якісну обробку деталі.

Фрези кінцеві

Кінцеві фрези характеризуються дуже широкою сферою технічного застосування. Фрези такого типу використовуються для оброблення уступів, глибоких пазів, а також взаємно перпендикулярних площин, можуть бути задіяні для виконання контурної обробки внутрішніх і зовнішніх поверхонь профілю складної конструкції.

Фрези дискові

Дискові фрези застосовують для утворення канавок, пазів, розкрою різноманітних металевих деталей. Виходячи з особливостей конструкції, їх можна розділити на кілька категорій, таких як дискові, пазові, відрізні, фасонні.

Фрези кутові

Слід зазначити, що кутові фрези фактично є одним з різновидів дискових фрез. Такий інструмент використовують для прорізування канавок, які мають кутовий профіль.

У більшості випадків, кутові фрези застосовують для формування стружкових канавок у фрез, зенкерів і розверток.

Останнім часом кутові фрези почали застосовувати для утворення гвинтових стружкових канавок незначної глибини.

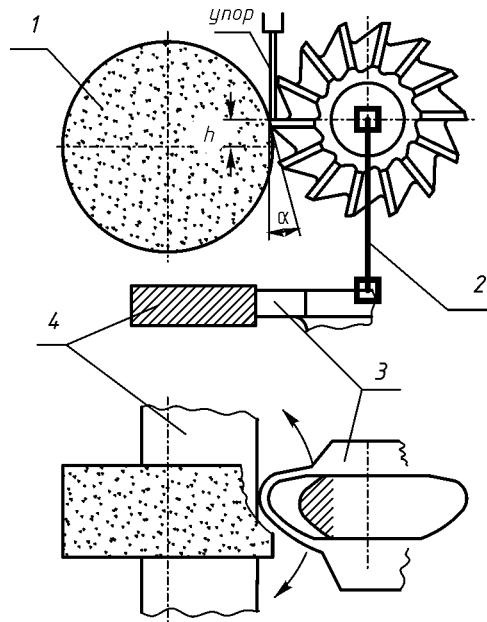


Рис. 16.26. Заточування фасонних гострозаточених фрез

- 1 – абразивний заточний круг циліндричної форми;
- 2 – жорстка зв'язка між фрезою та копіром;
- 3 – шаблон (копір) що повторює форму профілю фрези у збільшеному розмірі;
- 4 – притиска лінійка (упор)
- h – перевищення висоти осі фрези над віссю заточного круга;
- α – задній кут фрези.

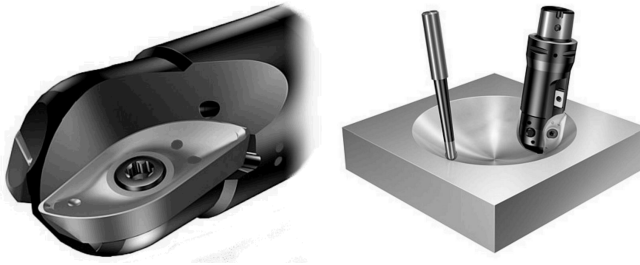
Фрези фасонні

Фасонні фрези застосовують для утворення поверхонь із фасонним профілем. Вони значно відрізняються від інших типів фрез, оскільки проектується залежно від конкретного профілю поверхні, яка підлягає утворенню.

Фрези затиловані

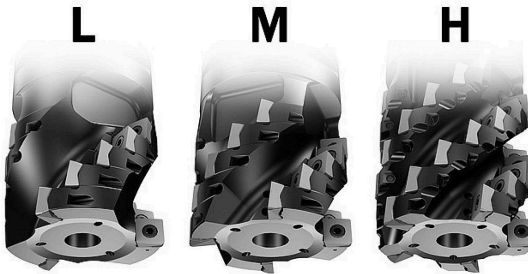
Це окрема група фрез, у більшості фасонного профілю. Застосовують для оброблення фасонних поверхонь в одиничному та дрібно-серійному виробництві.

16.10 Додаткові відомості



Оброблення фасонної поверхні кінцевою фрезою з радіусною змінною різальною пластиною.

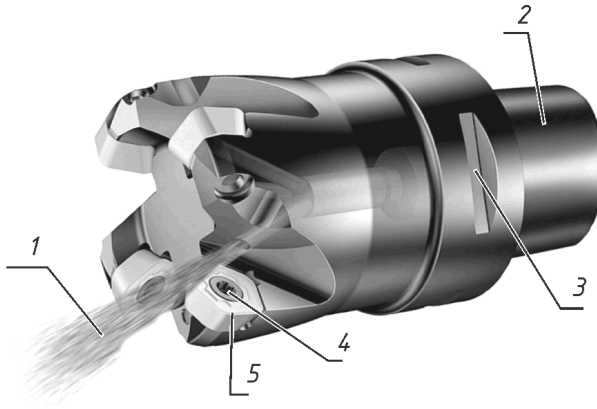
[Sandvik Coromant]



Три типи циліндричних фрез, які застосовують в автоматизованому виробництві

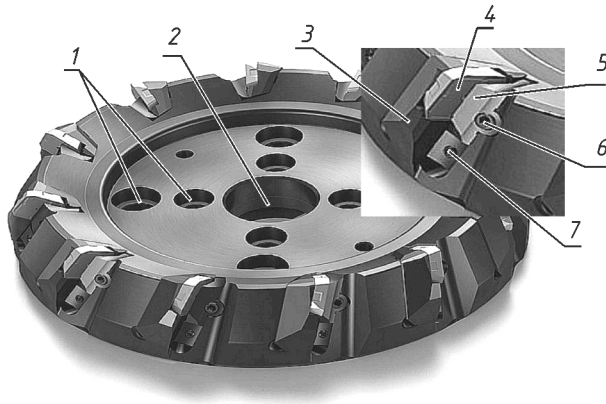
[Sandvik Coromant]:

- L* – фрези з малою кількістю зубців (чорнові), мають значні за розмірами стружкові канавки;
- M* – фрези з середньою кількістю зубців (“універсальні”). Це фрези для невідомого користувача, коли невідомо на яких операціях їх будуть застосовувати;
- H* – фрези з великою кількістю зубців (чистові), мають малі за розмірами стружкові канавки.



Торцева фреза із внутрішнім підводом охолоджуваної рідини через отвори у фрезі. [Sandvik Coromant]:

- 1 – потік охолоджувальної рідини під тиском. Рідину направляють у зазор між стружкою та передньою поверхнею фрези. Це збільшує інтенсивність охолодження та “відриває” стружку від інструмента;
- 2 – циліндричний хвостовик інструмента;
- 3 – паз для захвату інструмента маніпулятором;
- 4 – гвинт, що кріпить змінну різальну пластину;
- 5 – змінна різальна пластина.



Торцева фреза із внутрішнім підводом охолоджуваної рідини через отвори у фрезі. [Sandvik Coromant]:

- 1 – отвори під головки болтів котрими фреза прикручена до шпинделю верстата;
- 2 – посадковий отвір шпинделю;
- 3 – змінний картридж;
- 4 – змінна різальна пластина;
- 5 – затискний клин що затискає різальну пластину;
- 6 – гвинт затискного клину;
- 7 – кріплення картриджу до корпусу інструмента.

16.11 Питання для самоконтролю

1. Наведіть класифікацію фрез.
2. У чому полягає особливість роботи фрез?
3. Призначення фрез за типами поверхні, що утворюється?
4. Опишіть конструкцію циліндричних фрез.
5. Для яких операцій застосовують дискові фрези?
6. В яких випадках застосовують набори фрези?
7. У чому різниця між звичайною кінцевою фрезою і стандартною шпонковою фрезою?
8. Чи мають шпонкові фрези центрувальний отвір на робочий частині?
9. Чи мають кінцеві фрези центрувальний отвір на робочий частині?
10. Чому кутова фреза має таку назву?
11. Чи можливо застосовувати дискові фасонні фрези для утворення стружкових канавок?
12. Опишіть конструкцію дискових фрез.
13. У чому різниця між кінцевими та шпонковими фрезами?
14. За яким принципом набирають набір фрез?
15. Для чого на фрезах роблять зубці різного напрямку?
16. Чи стандартизовано посадкові діаметри фрез?
17. У чому різниця між фасонними затіланими та фасонними гострозаточеними фрезами?
18. Охарактеризуйте три основні форми зубу фрези.
19. По якій поверхні заточують фасонні затілані фрези?
20. По якій поверхні заточують гострозаточені фрези?
21. Чи може бути гострозаточена фреза фасонною?
22. Чи може бути затілана фреза фасонною?
23. Чи бувають збірні фрези?

17 ФРЕЗИ ЧЕРВ'ЯЧНІ

Черв'ячні фрези це специфічний інструмент, котрий застосовують для виготовлення деталей, що мають регулярний торцевий профіль. Наприклад: зубчасті колеса, шлицьові вали, ланцюгові зірочки (дивись “Додаткові відомості” на с. 318).

Використання черв'ячних фрез

Черв'ячні фрези здебільшого використовують для нарізування циліндричних зубчастих коліс.

У теперішній час черв'ячна фреза – майже основний інструмент для виготовлення евольвентних зубчастих коліс.

Евольвентне колесо

Бічна сторона зубу евольвентного зубчастого колеса окреслена по кривій, котру називають евольвентою (повна назва – евольвента кола).

Розрізняють звичайні черв'ячні фрези та модульні.

Модульна черв'ячні фреза

Черв'ячну фрезу для виготовлення евольвентних зубчастих коліс називають модульною черв'ячною фрезою.

Модульними їх називають через те, що основним параметром зубчастого зацеплення є модуль (позначають як m). В Америці та Канаді модульні фрези називають “пітчевими”, через застосування дюймової системи вимірювань.

17.1 Ідея евольвентного зачеплення

Ідея евольвентного зачеплення належить німецько-російському математику – Леонардо Ейлеру⁶.

Ейлер шукав заміну, поширеній у ті часи, кінематичній схемі передачі обертального руху за допомогою ремінця. Він діяв таким чином.

Початкове положення

1. Розглянемо рис. 17.1,а.

1.1. Два диски d_1 і d_2 з центрами O_1 та O_2 розташовані на відстані a один від одного.

1.2. Диски мають розміри відповідно до своїх радіусів r_{o1} і r_{o2} . Обертальний рух передається за допомогою ремінця кінці якого закріплені на дисках цвяхами I .

1.3. Точка P (полюс) розташована на перетині ремінця та міжосьової лінії O_1-O_2 .

Побудова першої евольвенти

2. Тепер розглянемо рис. 17.1,б.

2.1. Закріпимо в точці P ремінця олівець G та прикріпимо до диску d_1 аркуш паперу Π_1 .

2.2. Якщо тепер почати обертати диск d_1 навколо його осі O_1 то олівець G опише на папері Π_1 лінію e_1 (евольвенту кола r_{o1}).

Побудова другої евольвенти

3. Тепер розглянемо рис. 17.1,в.

3.1. Якщо прикріпити папір Π_2 до диску d_2 та повторити попередні дії, то отримаємо другу лінію e_2 (теж евольвенту, але кола r_{o2}).

Утворення зубчатого зачеплення

4. Розглянемо рис. 17.1,г. Якщо обрізати аркуші паперу по отриманих евольвентних лініях e_1 і e_2 то отримаємо два зуба z_1 та z_2 евольвентного зубчатого зачеплення.

5. Саме так Ейлер винайшов евольвентне зубчасте зачеплення. Кут α_o він назвав кутом зачеплення.

⁶Леона́рд Эйлер (нім. *Leonhard Euler*; 15 квітня 1707, Базель, Швейцарія – 7 (18) вересня 1783, Санкт-Петербург, Російська імперія).

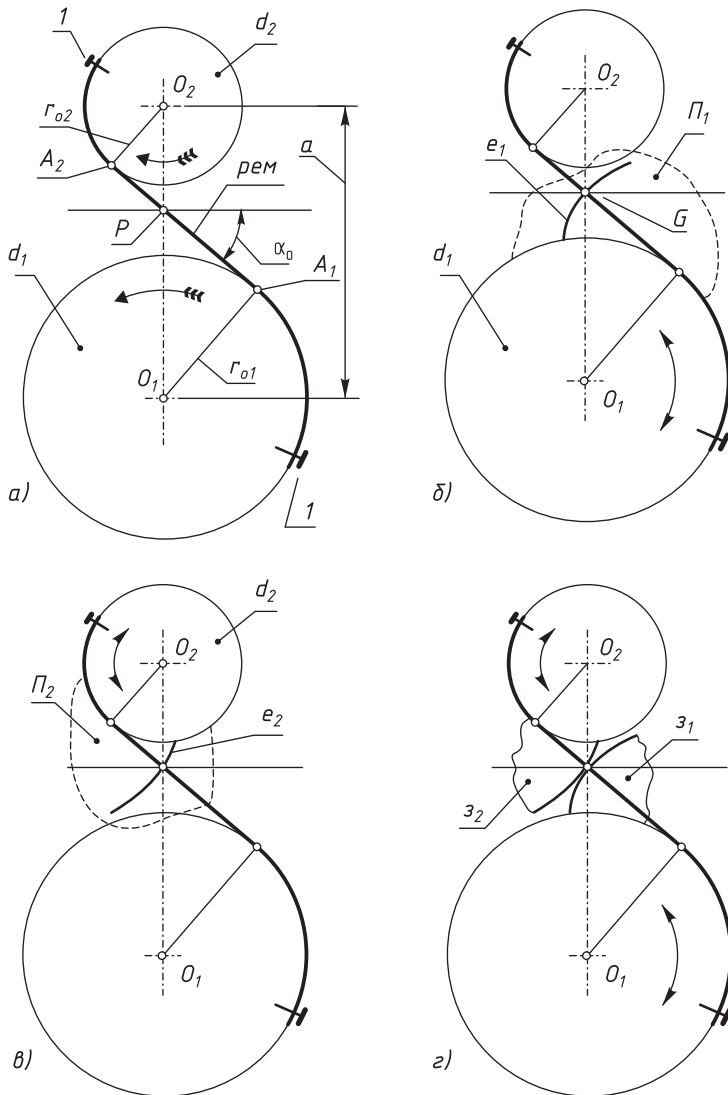


Рис. 17.1. Ідея евольвентного зацеплення

17.2 Елементи зубчастого зачеплення

На рис. 17.2,а зображені загальні геометричні елементи евольвентного зубчастого зачеплення.

Основне коло

Кола радіусами r_{o1} та r_{o2} називають основними колами зубчастого зачеплення. Це саме ті кола по яких обкочувався ремінець під час утворення евольвентного зачеплення. У реальному зубчастому зачепленні основного кола немає – воно уявне, але від його розмірів залежать всі параметри зубчастого колеса (тому воно і є основним).

Лінія зачеплення

Лінія зачеплення $лз$ (рис. 17.2,б) це лінія по якій відбувається зачеплення (контакт) між двома евольвентними поверхнями зубчастого зачеплення.

Отже, точка контакту E (рис. 17.2,в) не стоїть на місці і не знаходиться у полюсі P , вона переміщається вздовж лінії зачеплення $лз$. Лінія зачеплення обмежена двома точками A_1 та A_2 .

Кут зачеплення

Кут між лінією зачеплення $лз$ та горизонталлю називають кутом зачеплення α_o . В Європі цей кут прийнято рівним 20° . В Америці кут евольвентного зачеплення прийнятий рівним $14\frac{1}{2}^\circ$. Що краще, питання спірне.

Ділильне коло

Кола радіусів $r_{д1}$ та $r_{д2}$ називають ділильними колами. Якщо взяти два диски з радіусами $r_{д1}$ та $r_{д2}$ і притиснути їх один до одного, то вони забезпечать передачу обертового руху, як повноцінна зубчаста передача (звичайно з урахуванням терті та ковзання).

Зубці зубчастого колеса

На рис. 17.2,в зображені два спряжені зубця. Точка E це точка контакту двох евольвентних сторін зубців. Як видно з рисунку вона розташована на лінії зачеплення (це обов'язково), але не в полюсі P .

Модуль

Модуль m зубчастого колеса це відношення діаметра $2r_d$ ділильного кола до кількості зубців Z колеса:

$$m = \frac{2r_d}{Z}.$$

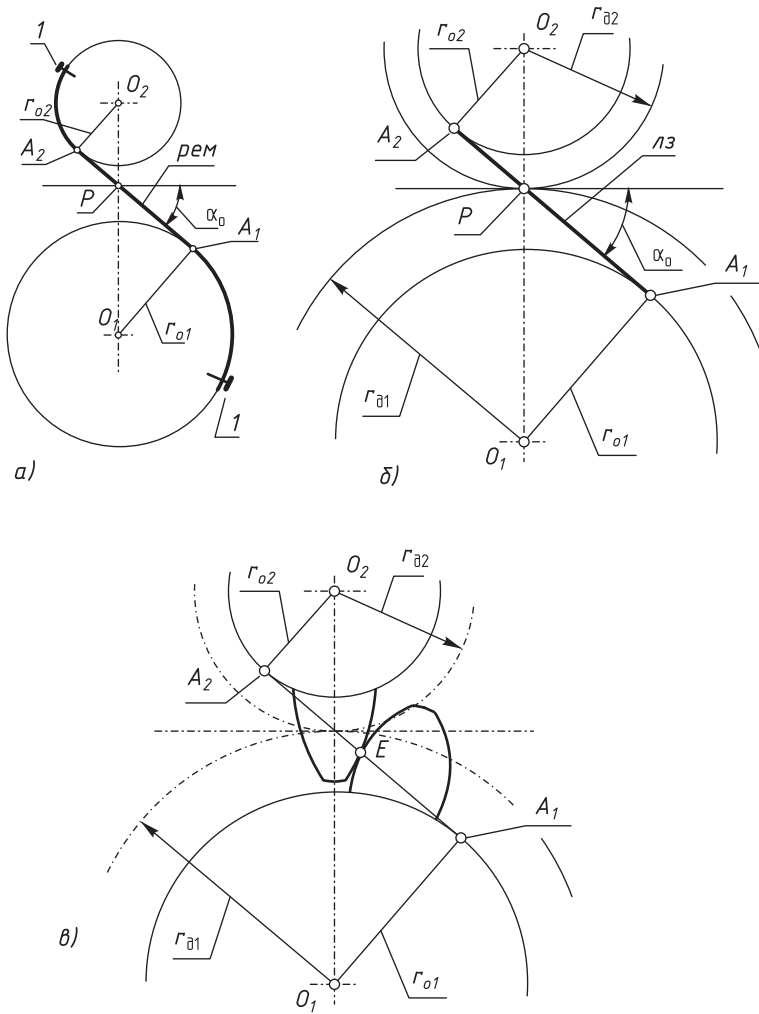


Рис. 17.2. Елементи зубчастого зачеплення

17.3 Принцип роботи

Черв'ячна зуборізна фреза працює за кінематичною схемою кочення прямої по колу⁷. Початкова пряма пов'язана із фрезою, а деталь із колом.

У процесі роботи (рис. 17.3) фреза здійснює два рухи. Перший 1 – обертальний рух навколо своєї осі, та другий 2 вздовж осі деталі. Обертальний рух це головний рух різання. Поздовжній рух 2 прорізує профіль зубчатого колеса на всю його ширину.

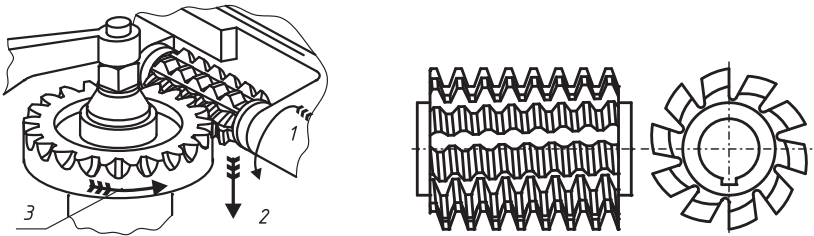


Рис. 17.3. Черв'ячна фреза

Обертальні рухи 3 та 1 імітують кочення кола по прямій. Це відбувається завдяки тому, що зубці фрези розташовані на гвинтовій лінії. Фреза це різьбова поверхня відповідного профілю на якій прорізані канавки, що утворюють зубці. Тому, коли фреза обертається навколо своєї осі – імітується рух кочення.

17.4 Конструктивні елементи

Як інструмент черв'ячна фреза – це гвинт, з якого шляхом прорізування стружкових канавок виготовляють фрезу. Основні конструкційні параметри черв'ячної фрези подано на рис. 17.4.

Основний черв'як

Гвинт з якого “вирізають” черв'ячну фрезу, називають основним черв'яком. Кажуть, що фреза виготовлена на основі якогось черв'яка⁸. Наприклад, евольвентного.

⁷Одна фреза може утворити будь-яке колесо, з будь-якою кількістю зубів, але тільки одного (свого) модулю.

⁸Евольвентного, Архімедового, конволютного або іншого.

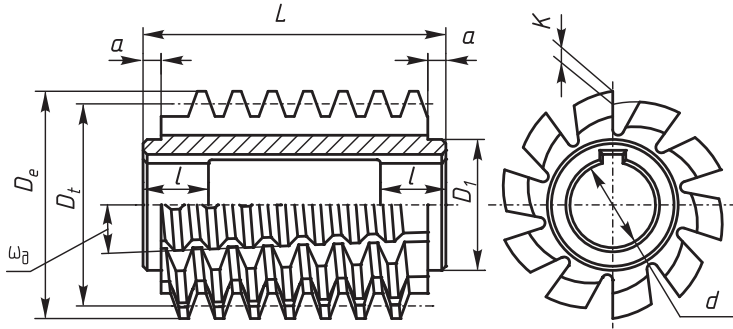


Рис. 17.4. Конструктивні параметри

- L – загальна довжина інструмента (фрези);
 a – ширина бортику, який призначено для контролю радіального биття;
 D_1 – діаметр бортиків;
 D_e – зовнішній діаметр фрези;
 D_t – діаметр ділильного кола фрези;
 ω_d – кут нахилу стружкової канавки;
 d – діаметр посадкового отвору;
 l – довжина опорних поверхонь;
 K – величина затилювання (визначає величину задніх кутів на зуби фрези).

Заготовку черв'яка виготовляють на токарному верстаті обточуючи її фасонним токарним різцем. У результаті обточування отримують звичайний гвинт з великим кроком та відповідним профілем.

Для нарізування прямозубих і косозубих зубчастих коліс з евольвентним профілем, найчастіше, застосовують фрези на основі конволютного або Архімедова основного черв'яка.

Архімедів черв'як це такий черв'як (гвинт), який в осьовому перерізі має форму трапеції з прямими сторонами (рис. 17.5).

Конволютний черв'як це такий черв'як (гвинт), який у перерізі, перпендикулярному до витків його гвинтової спіралі, має форму трапеції з прямими сторонами (рис. 17.5).

Будь-яка черв'ячна фреза, незалежно від типу основного черв'яка або своєї конструкції, характеризується тільки своїм профілем в осьовому перерізі. Всі черв'ячні фрези для виготовлення зубча-

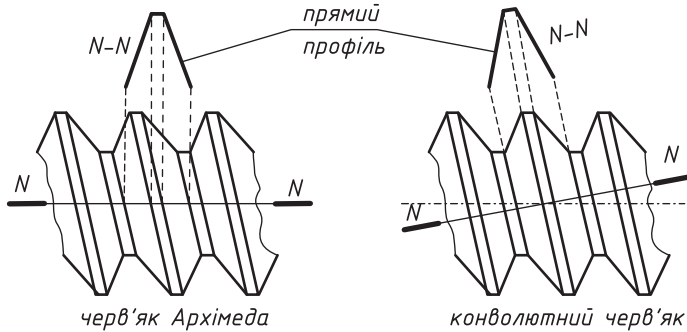


Рис. 17.5. Основні черв'яки

стих коліс евольвентного профілю (зацеплення) мають прямолінійний профіль. Це пов'язано з кінематичною схемою роботи (формування) такими фрезами⁹.

Передня поверхня

Передня поверхня зубу черв'ячної фрези – є спіраль Архімеда. Вона утворюється в момент прорізування подовжніх стружкових канавок. Стружкові канавки розташовані відносно осі фрези або паралельно, або під кутом ω_d (рис. 17.4).

Паралельне розташування канавок дешевше і його застосовують, в основному, для чорнового інструмента.

Для чистових черв'ячних фрез стружкові канавки розташовують під кутом до осі інструмента, так менші похибки оброблення.

Задня поверхня

Для утворення задньої поверхні застосовують затилування фрези по спіралі Архімеда. Єдиною ціллю затилування є забезпечення незмінності профілю фрези після її переточування по передній поверхні.

Кінематика затилування

Різець 1 здійснює поступальні перемінні рухи вздовж радіальної площини фрези (рис. 17.6). Фреза 2 рівномірно обертається навколо своєї осі. Рухи різця і фрези механічно пов'язані між собою. Ділянка

⁹Черв'ячні фрези відносяться до так званого обкатного інструмента, який працює за схемою кочення прямої по колу.

від a до a_1 – це оброблення (затилювання) задньої поверхні. Ділянка від a_1 до a_2 – це вихід різця із стружкової канавки фрези. Отже, кінематика затилювання зводиться до обертального руху заготовки (фрези) та змінного руху токарного фасонного різця.

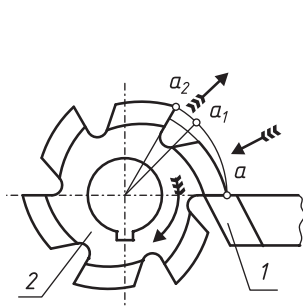


Рис. 17.6. Кінематика затилювання

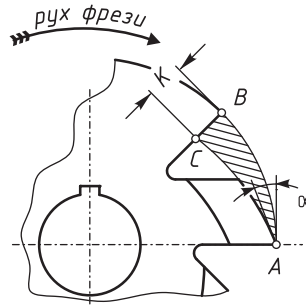


Рис. 17.7. Геометрія затилювання

Геометрія затилювання

У процесі затилювання фасонний різець видаляє заштриховану зону (рис. 17.7). Траєкторія AC за якою рухається різець – називається кривою затилювання. Зазвичай це спіраль Архімеда.

Отже, між задньої поверхнею і напрямком руху фрези існує кут, який і є задній кут фрези α . Зазвичай його позначають як α_v (задній кут фрези при вершині). Параметр K – це величина затилювання, яку вказують на кресленнику замість кута α_v .

17.5 Геометричні параметри

Згідно стандартів чистові черв'ячні модульні фрези, що виготовляються в централізованому порядку, мають такі геометричні параметри по вершинах зубів (на зовнішньому діаметрі інструмента):

- передній кут при вершині зубу фрези $\gamma_v = 0^\circ$;
- задній кут при вершині зубу фрези $\alpha_v = 9 \dots 12^\circ$.

Однак треба враховувати, що із збільшенням переднього кута покращуються умови різання, але змінюється профіль зубів нарізуючого колеса, тому черв'ячні фрези з додатнім переднім кутом застосовують тільки для попереднього оброблення.

Математична залежність між величиною затилювання K та заднім кутом α_v при вершині зубу фрези описується виразом:

$$K = \frac{2\pi r_{\text{в}}}{Z} \operatorname{tg} \alpha_{\text{в}}$$

де $\alpha_{\text{в}}$ – задній кут при вершині фрези;
 K – величина затилювання;
 Z – кількість зубців фрези;
 $r_{\text{в}}$ – радіус фрези у вершинній точці.

Розраховане значення затилювання K округляють до 0,5 мм. Це пов'язано із необхідністю спрощення настроювання верстата в процесі затилювання.

17.6 Поновлення працездатності

Поновлення працездатності затуплених черв'ячних фрез здійснюють їх заточуванням по передній поверхні яка є гвинтовою. Для заточування застосовують спеціальний пристрій рис. 17.8. Який діє таким чином.

Фреза 2 закріплена на оправці 4. Стіл 1 рухається відносно основи верстата. Лінійка 6 разом із вузлом 5 перетворює лінійний рух стола 1 в обертальний. Заточувальний круг 3 встановлено під кутом до фрези.

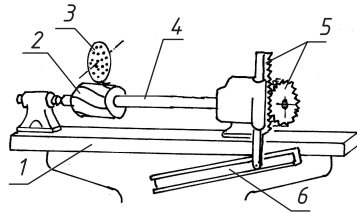
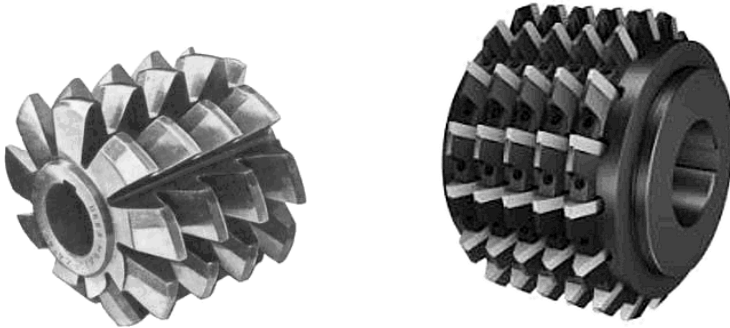


Рис. 17.8. Заточування черв'ячних фрез

17.7 Додаткові відомості

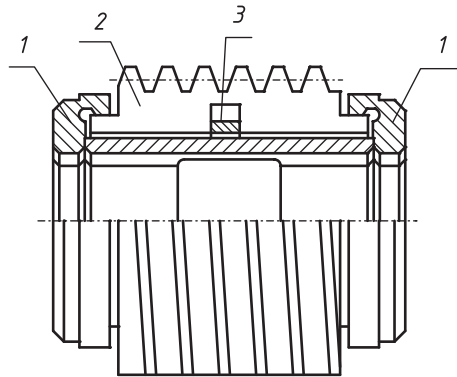


Фрези модульні цільної та складеної конструкції
[Sandvik Coromant]

Зауваження 1. Цільна фреза виготовлена із інструментальної сталі (зазвичай Р6М5). Вона має високу точність виготовлення та відповідно обробляє деталі з високою точністю.

Зауваження 2. Фреза складеної конструкції має змінні різальні елементи. Це дозволяє здійснювати їх заміну в разі потреби. Однак, через це її точність дещо нижча ніж у цільної фрези.

Висновок. Складені фрези застосовують на чорнових операціях.

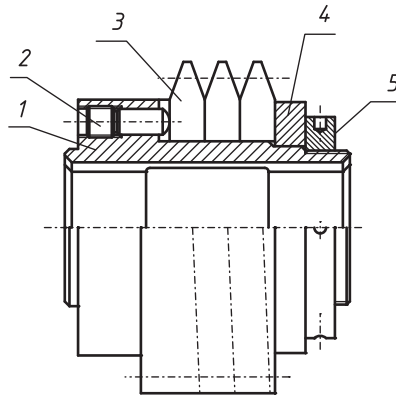


Модульна фреза з рейками

Фреза складається з таких елементів:

- 1 – бокові кришки, котрі утримують зубчасті рейки;
- 2 – зубчасті рейки. Кожна рейка базується по пазу 3 відносно корпусу;
- 3 – шпонка для базування зубчастих рейок.

Кожна зубчаста рейка має зубці, котрі зміщені відносно базового пазу на певну величину таким чином, що в зібраному стані зубці фрези утворюють гвинтову поверхню.



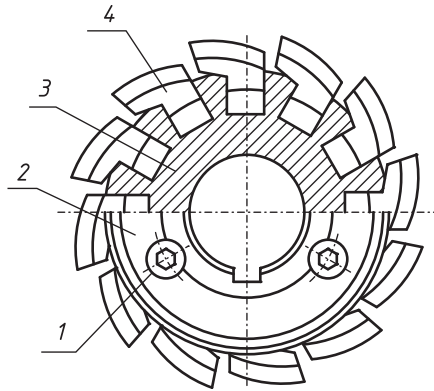
Модульна фреза з зубцями

Фреза складається з таких елементів:

- 1 – корпус виготовлений із конструкційної сталі (зазвичай сталь 40Х);
- 2 – регулювальний гвинт. З його допомогою можливо зміщувати кожну окрему рейку на необхідну величину;
- 3 – рейка складена із окремих зубців;
- 4 – упорна шайба, по її торцевій поверхні базують всі рейки;
- 5 – кільці з різьбою, яке затискає всю конструкцію.

Перевагою цієї конструкції є можливість заміни окремого різального елемента (зубця) фрези. Але така конструкція не забезпечує великою точності, тому її застосовують виключно на чорнових операціях.

Саме на чорнових операціях має місце частий вихід з ладу окремих різальних елементів.



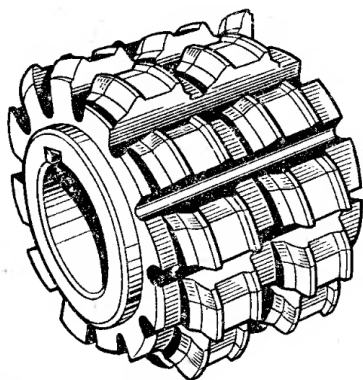
Модульна фреза із зубцями затилованими по колу

Фреза складається з таких елементів:

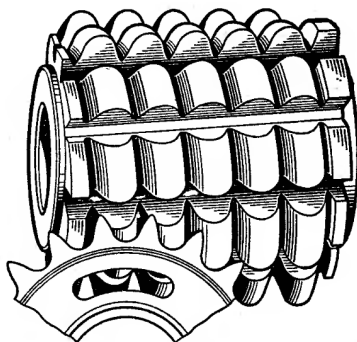
- 1 – гвинти, що утримують всю конструкцію;
- 2 – опорне кільце;
- 3 – корпус фрези (сталь 40Х);
- 3 – поворотна зубчаста рейка затилована по колу.

Фрези затиловані по колу мають задню поверхню окреслену частиною кола (замість спіралі Архімеда).

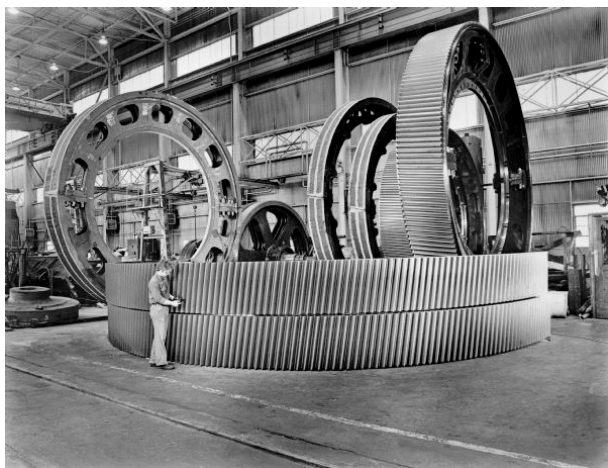
Така конструкція значно дешевша за фрези затиловані по спіралі Архімеда, але і значно гірша – бо має значні похибки.



Черв'ячна фреза для утворення шлицьових валів
[А.А. Суворов. *Металлорежущие инструменты*. – М.:
Машиностроение, 1979, – 64 с.]



Черв'ячна фреза для ланцюгових зірочок велосипедів
[А.А. Суворов. *Металлорежущие инструменты*. – М.:
Машиностроение, 1979, – 64 с.]



“Невелике” зубчасте коліщатко
[ресурси Інтернету]

Такі зубчасті колеса застосовують у галузях важкого машинобудування. Вони мають дві відмінності:

- передають значний крутний момент;
- через велику масу мають невелику швидкість обертання ($50 \dots 100 \text{ об/хв}$).

17.8 Питання для самоконтролю

1. Опишіть принцип роботи черв'ячної фрези.
2. Поясніть етапи побудови евольвенти.
3. Чому лінія зачеплення має таку назву?
4. У чому полягає ідея затилювання?
5. Опишіть конструктивні елементи черв'ячної фрези.
6. Що таке “основний черв'як” фрези?
7. Що означає вираз “за основний черв'як черв'ячної фрези взято черв'як Архімеда”?
8. Що таке черв'як Архімеда?
9. Що таке конволютний черв'як?
10. У чому різниця між Архімедовим та конволютним черв'яками?
11. Опишіть кінематику затилювання.
12. Опишіть геометричні параметри затилювання.
13. Як здійснюють поновлення працездатності черв'ячних фрез?
14. Що таке “величина затилювання”?
15. В яких одиницях вимірюють величину затилювання?
16. В якому напрямку вимірюють затилювання?
17. Чи існують збірні черв'ячні фрези?

Частина VII

УТВОРЕННЯ РІЗЬБ

18 РІЗЬБА

У машинобудуванні велике поширення отримали різьбові з'єднання деталей, тобто з'єднання, що здійснюються за допомогою різьби. Різьбовими називають з'єднання, повторне складання і розбирання яких можливе без ушкодження їх складових частин. Різьби застосовуються у техніці для роз'ємного з'єднання деталей машин і механізмів. Такі з'єднання характеризуються універсальністю, високою надійністю, здатністю сприймати великі навантаження; вони зручні для складання і розбирання, прості у виготовленні. Різьбові з'єднання відносяться до групи роз'ємних з'єднань.

18.1 Утворення різьби

В основі утворення різьби лежить гвинтовий рух деякої фігури, зазвичай трикутника, що складається з рівномірних поступального й обертального рухів відносно прямої, яка називається віссю гвинтового руху. Якщо в тіло циліндричного (конічного) стержня, що рівномірно обертається навколо своєї осі, поглибити різець і надати йому рівномірно-поступальний рух паралельний осі циліндра (конуса), то на поверхні останнього утворюється гвинтова западина й гвинтовий виступ. Сукупність рівномірно розташованих гвинтових виступів і западин постійного перерізу утворених на циліндричній, або конічній поверхні, називають різьбою (рис. 18.1).

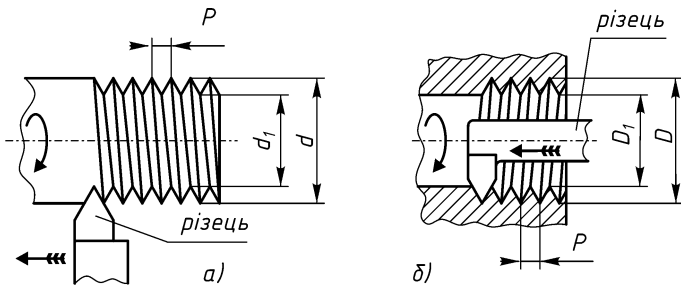


Рис. 18.1. Види різьби

Залежно від виду поверхні, на якій утворено різьбу, останні підрозділяються на циліндричні і конічні. Різьба, утворена на стержні, називається зовнішньою (рис. 18.1,а), а різьба, отримана в отворі – внутрішньою різьбою (рис. 18.1,б).

Зовнішня різьба (рис. 18.1,а) утворюється на зовнішній поверхні тіла обертання за рахунок вирізання профілю різьби на зовнішній поверхні при русі різьбового різця або різьбонарізної головки вздовж осі деталі з подачею, що відповідає кроку різьби P .

Внутрішня різьба (рис. 18.1,б) утворюється на внутрішній поверхні отвору заготовки при обробленні різьбовим різцем або мітчиком, що рухається вздовж осі отвору з подачею рівною кроку різьби P .

Права різьба утворюється контуром, що обертається за годинниковою стрілкою та переміщується уздовж осі у напрямі від спостерігача, а ліва – контуром, що обертається проти годинникової стрілки. За кількістю заходів різьба підрозділяється на однозаходну й багатозаходну (двох-, трьохзаходну тощо).

18.2 Елементи різьби

Вісь різьби – вісь, відносно якої утворена гвинтова поверхня різьбонарізування. Профіль різьби – профіль виступу й западини різьби в площині осьового перерізу різьби (рис. 18.1 та 18.2). Профіль різьби включає бічні сторони, вершини і западини різьби.

Кут профілю різьби α

Кут утворений суміжними бічними сторонами профілю різьби.

Крок різьби P

Відстань між сусідніми однойменними бічними сторонами профілю в напрямку, паралельному осі різьби.

Зовнішній діаметр різьби d, D

Діаметр уявного циліндра, описаного навколо вершин зовнішньої d або западин внутрішньої різьби D .

Внутрішній діаметр різби d_1, D_1

Діаметр уявного циліндра, вписаного в западини зовнішньої d або западин внутрішньої різби D .

Середній діаметр різби d_2, D_2

Діаметр уявного, співвісного з різбою прямого кругового циліндра, твірنا якого перетинає профіль різби таким чином, що її відрізки, утворені перетином з канавкою, дорівнюють половині номінального кроку різби.

Номінальний розмір різби d, D

Діаметр, що умовно характеризує розмір різби і використовується при її позначенні.

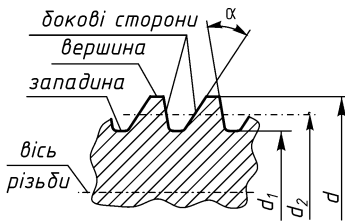


Рис. 18.2. Елемента та параметри різби

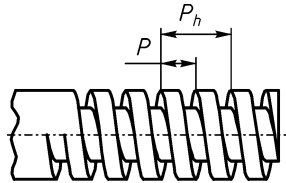


Рис. 18.3. Крок різби

Профіль різби є одним з основних параметрів, що характеризують різьбу. У сучасному машинобудуванні найбільш широке поширення отримали різби трикутного, трапецеїдального і прямокутного профілів. Різьби трикутного профілю зазвичай виконують на деталях для їх безпосереднього з'єднання між собою шляхом згвинчування та на деталях (болтах, гайках, гвинтах тощо), призначених для здійснення з'єднання двох або декількох складових частин виробів між собою, і тому її називають кріпильною різьбою.

Різьби трапецеїдального й прямокутного профілів називають ходовими і застосовують, головним чином, для перетворення обертального руху однієї деталі в осьове переміщення іншої. Так, наприклад, за допомогою ходових гвинтів, що обертаються, здійснюється

зворотно-поступальне переміщення механізмів металорізальних верстатів, рухливих губок лещат і тощо. До параметрів різьби також відносяться її крок і хід.

Крок різьби P – відстань між сусідніми однойменними бічними сторонами профілю, виміряна вздовж осі різьби (рис. 18.1 та 18.3). Початок виступу різьби носить назву заходу різьби. На циліндричній поверхні можна отримати різьбу шляхом утворення двох або більше виступів з рівномірно розташованими заходами. Такі різьби називають багатозаходними. Для багатозаходних різьб розрізняють поняття крок і хід.

Ходом різьби P_h називають відстань між однаковими точками профілів двох сусідніх витків одного і того ж гвинтового виступу, а крок P визначається відстанню між двома сусідніми витками (рис. 18.3).

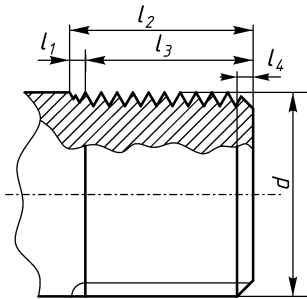


Рис. 18.4. Елементи зовнішньої різьби

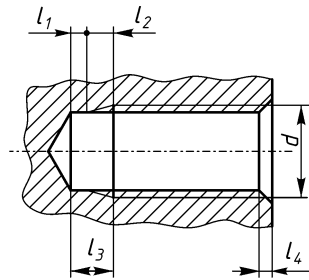


Рис. 18.5. Елементи внутрішньої різьби

Для однозаходної різьби її крок дорівнює ходу, тобто $P = P_h$. Для багатозаходної різьби хід P_h дорівнює добутку кількості заходів n на крок P , тобто $P_h = Pn$. Окрім профілю, діаметра, кроку, кількості заходів і напряму різьба характеризується довжиною її нарізання (накатки).

Довжиною різьби називають довжину ділянки l_2 (рис. 18.4) поверхні на якій утворено різьбу, включаючи фаску l_4 та перебіг різьби l_1 . Перед нарізуванням різьби на кінці стержня або на початку отвору виконується фаска – конічна поверхня з кутом нахилу твірних до осі стержня або отвору, рівних зазвичай 45° .

Наявність фаски спрощує процес нарізування різьби в початковий період, а також полегшує з'єднання між собою різьбових деталей. Перебіг різьби – ділянка неповного профілю в зоні переходу різьби до гладкої частини деталі (рис. 18.4).

Якщо різьбу виконують до деякої поверхні, що не дозволяє доводити інструмент до упору до неї, то утворюється недобіг різьби l_1 (рис. 18.5). Перебіг l_2 разом з недобігом l_1 утворюють недоріз різьби. Якщо вимагається виготовити різьбу повного профілю, без перебігу, то для виведення різьбонарізного інструмента роблять проточку, діаметр якої для зовнішньої різьби має бути трохи менше внутрішнього діаметру різьби, а для внутрішньої різьби – трохи більше зовнішнього діаметра різьби (рис. 18.5).

Розміри фасок, перебігів, недорізів та проточок встановлені стандартами й залежать від типу різьби, її діаметру і кроку.

18.3 Класифікація різьб

Різьби класифікують з конструктивних та експлуатаційних позицій:

- за призначенням різьби поділяються на кріпильні, призначені для нерухомого роз'ємного з'єднання, і ходові (кінематичні) для передачі руху;
- за величиною кроку розрізняють різьби великі, дрібні, спеціальні;
- за напрямом гвинтової лінії різьби розрізняють на різьбу праву (нитка різьби формується за годинниковою стрілкою) і ліву (нитка різьби формується проти годинникової стрілки);
- за характером поверхні – циліндричні і конічні;
- за розташуванням на деталях – зовнішні (нарізані на стержні) і внутрішні (нарізані у отворі);
- за числом заходів – однозаходні та багатозаходні;
- за профілем розрізняють різьби трикутні, трапецієвидні, прямокутні, круглі, спеціальні;
- по одиницях вимірювання - метричні й дюймові (1 дюйм = 25,4 мм).

З експлуатаційних показників розрізняють різьби: загального призначення – кріпильні, кінематичні, трубні, круглі; спеціальні – використовувані для деталей певного типу. Трикутні різьби підрозділяється на метричні, дюймові, трубні, конічні дюймові; трапецієвидні різьби – на трапецеїдальні, упорні, упорні підсилені.

18.4 Методи утворення різьбових поверхонь

Зовнішню і внутрішню різьбу на деталях отримують наступними основними способами:

- вирізанням профілю різьби різальним інструментом;
- накочуванням профілю різьби накатним інструментом;
- шліфуванням абразивним інструментом;
- пластичним деформуванням (накочуванням).

Для різьбонарізування застосовують різці, гребінки, мітчики, плашки, різьбові фрези і шліфувальні круги.

Різці, гребінки, мітчики, плашки й головки обробляють різьбу по одній і тій же схемі формоутворення, коли рух інструмента відносно заготовки зводиться до гвинтового і вихідна інструментальна поверхня збігається з поверхнею нарізаної різьби. Тому профілюючи (ті, що профілюють) ділянки різальних кромek цих інструментів, розташовують на одній і тій же вихідній поверхні різьби деталі.

У процесі обробки відносний гвинтовий рух може бути надано безпосередньо інструменту, що має місце при нарізуванні різьби на свердлильних верстатах мітчиками, плашками або головками.

Процес різання при різьбонарізанні характеризується видаленням шарів металу за профілем подібних до западини.

18.5 Питання для самоконтролю

1. Поясніть у чому різниця між внутрішньою та зовнішньою різьбами?
2. Чи можливо утворити внутрішню різьбу за допомогою токарного різця?
3. Чи можливо утворити зовнішню різьбу за допомогою токарного різця?
4. Як визначити крок різьби?
5. Назвіть параметри різьби?
6. Яка різниці між одно- та багато-західними різьбами?
7. У чому різниця між метричними та дюймовими різьбами?
8. Що таке перебіг різьби?
9. У чому різниця між ходом та кроком різьби?
10. Який діаметр різьби більший; зовнішній чи внутрішній?

19 РІЗЬБОВИЙ ІНСТРУМЕНТ

19.1 Різьбонарізні різці і гребінки

Різьбонарізні різці і гребінки є найбільш простими різальними інструментами, призначеними для нарізування зовнішніх і внутрішніх різьб найрізноманітніших профілів на токарних верстатах. По конструкції, принципу забезпечення розмірів обробки і необхідних геометричних параметрів вони є: фасонними стержневими різцями (рис.19.1), призматичними (рис. 19.2,*а*) та круглими (рис. 19.2,*б, в*) з профілем западин нарізуваної різьби.

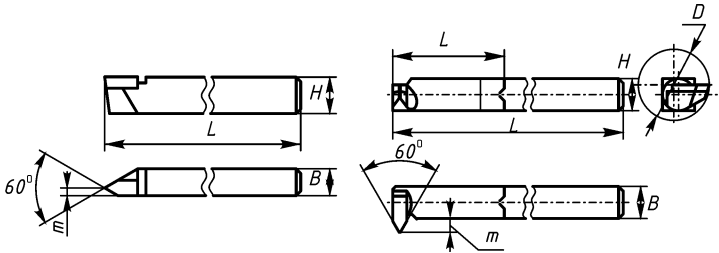


Рис. 19.1. Стержневі різці

Габаритними розмірами стержневих різців (рис.19.1) є їх довжина L , висота H , ширина B та виліт різця m .

Однорічкові конструкції з профілем однієї западини різьби називають просто різьбонарізними різцями (рис. 19.2,*б*), а багаторічкові – різьбонарізними гребінками (рис. 19.2,*в*).

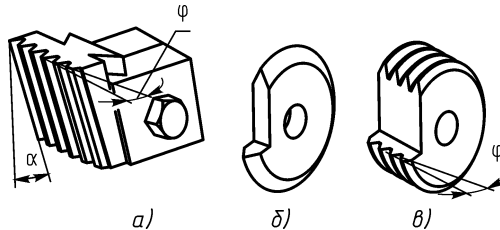


Рис. 19.2. Радіальні різці

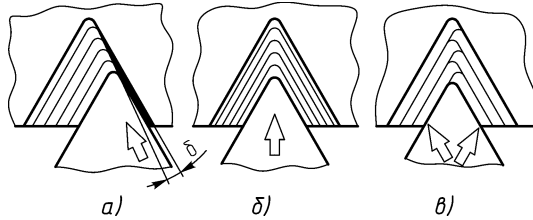


Рис. 19.3. Методи врізання

Робота з великими повздовжніми подачами регламентує деякі особливості до конструкції робочої частини інструмента через сильні відмінності робочих кутів від статичних. Щоб задні робочі кути α (рис. 19.2,а) були однаковими, профіль різця повертають на кут підйому нарізуваної різьби, він повинен співпадати з напрямом витків різьби. Тому в стержневих і призматичних різцях і гребінках профіль нахилений до опорної площини, а у круглих він виконується гвинтовим.

Друга особливість конструкції полягає в утворенні на гребінках різальної частини під кутом φ (рис. 19.2,б), яка дозволяє перерозподілити роботу між зубцями інструмента. У різанні одночасно беруть участь усі зубці, що знаходяться на різальній частині, тому нарізування різьби гребінками є більш продуктивним, ніж різцями, кількість проходів може бути зменшено. Зубці повного профілю за різальною частиною гребінки виконують калібрувальну дію.

Метод врізання визначає спосіб, яким пластина знімає припуск і заглиблюється в матеріал заготовки. Врізання підрозділяють на одностороннє бічне, двостороннє бічне і радіальне (рис. 19.3).

Одностороннє бічне врізання (рис. 19.3,а) має такі переваги, в порівнянні з методом радіального врізання:

- більшість верстатів з ЧПУ мають стандартний цикл нарізування різьби, що використовує саме цей метод врізання;
- рекомендується використовувати для усіх типів пластин і операцій;
- покращене формування та видалення стружки в порівнянні з радіальним врізанням;
- менша товщина стружки, зняття припуску відбувається тільки однією стороною пластини, полегшуючи процес різання;
- менша кількість проходів у порівнянні з радіальним врізанням, що викликає менший нагрів пластини;

- врізання може здійснюватися як у прямому, так і у зворотному напрямі (рух подачі у напрямі обох бічних поверхонь пластики), що дозволяє регулювати схід стружки.

Радіальне врізання (рис. 19.3,б) досить поширений метод, а іноді єдиний можливий для деяких верстатів з ЧПУ:

- стружка формується обома сторонами пластини у вигляді літери V;
- процес зносу інструмента протікає рівномірно, по усій довжині різальної кромки;
- метод найбільш прийнятний для нарізування дрібних різьб;
- різальна вершина пластини піддається дії високих температур, що накладає обмеження на глибину різання;
- існує ризик виникнення вібрацій і труднощів з видаленням стружки при нарізуванні різьби з великим кроком.

Двостороннє бічне врізання (рис. 19.3,в) використовується для різьб з кроком більше 5 мм. Цей метод, у першу чергу, використовується для нарізування великих різьб:

- рівномірний знос і висока стійкість інструмента;
- вимагає спеціального програмного забезпечення.

19.2 Мітчики

Мітчики використовуються в машинобудуванні для нарізування різьби в отворах заготовок.

Мітчик різбовий

Гвинт, перетворений на інструмент шляхом прорізання стружкових канавок і створення на різальних зубцях передніх, задніх та інших кутів.

Різальна частина мітчика виготовляється зі швидкорізальної сталі, рідше з твердого сплаву, у залежності від оброблюваного матеріалу заготовки. Умови різання при знятті стружки мітчиком є важкими через обмежене різання, великі сили різання і тертя, а також ускладнені умови видалення стружки.

Крім того, мітчики мають знижену міцність завдяки ослабленому поперечного перерізу серцевини. Особливо негативно це позначається при нарізуванні різьби у в'язких матеріалах мітчиками малих діаметрів. Такі мітчики часто виходять з ладу із-за поломок, викликаних пакетуванням стружки.

Перевагами мітчиків є: простота і технологічність конструкції, можливість нарізування різьби за рахунок самоподачі, достатньо висока точність різьби, визначена точністю виготовлення мітчиків.

Незважаючи на велику різноманітність типів мітчиків, вони мають подібні основні частини, конструктивні елементи і геометрію різальної частини. Слід зазначити, що найбільше поширення отримали мітчики для нарізування кріпильних різьб.

19.2.1 Типи мітчиків.

За конструкцією і способом застосування мітчики поділяють на наступні типи:

- ручні (слюсарні) – застосовують тільки з ручним приводом;
- машинно-ручні – можуть мати машинний та ручний приводи;
- машинні одинарні – тільки машинний привід;
- гайкові – для виготовлення гайок;
- безканавкові – не мають стружкових канавок;
- з шаховим кроком – так звані “через зуб”;
- мітчик-протіжка – працюють за принципом протягування.

Ручні мітчики

Ручні (слюсарні) мітчики – з ручним приводом, виготовляються комплектами з двох або трьох мітчиків різних розмірів та різної точності (рис. 19.4)

Застосування комплекту мітчиків (рис. 19.5) дозволяє:

- зменшити зусилля різання;
- поліпшити якість і точність обробки;
- зменшити довжину недорізу при обробці глухих отворів.



Рис. 19.4. Ручні мітчики
[Beta-tools]

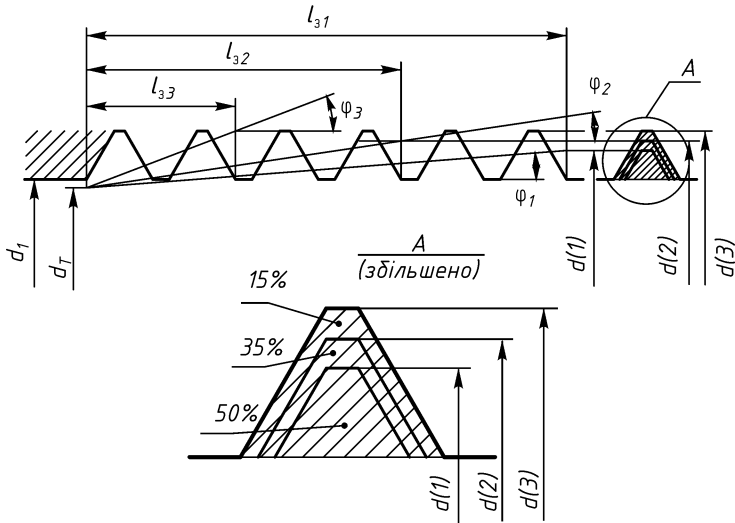


Рис. 19.5. Розподіл припуску при роботі комплектних мітчиків

Чорновий мітчик виконує основну роботу по формуванню профілю різьби (50–70%) і має мінімальний кут різального конуса φ_1 та максимальну довжину різальної частини l_{31} , а чистовий остаточно зачищає різьбу та калібрує її (20–30%), тому має максимальний кут різального конуса φ_3 та мінімальну довжину різальної частини l_{33} (рис. 19.5).



Рис. 19.6. Машинно-ручні мітчики
[Toolsua]



Рис. 19.7. Машинний мітчик
[Prom.ua]

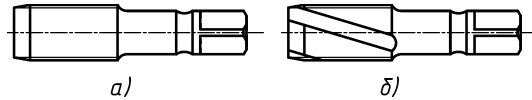


Рис. 19.8. Машинні мітчики

Навантаження може розподілятися як по профільній, так і по послідовній схемі різання. У першому випадку зовнішній і середній діаметри різьби мітчиків різні, різання здійснюється за усім профілем різьби; кожен подальший мітчик зачищає різьбу по сторонах, тому в точному виконанні потребує тільки чистовий мітчик. Чистовий мітчик зрізує метал по усій висоті профілю – стружка виходить товста, що призводить до збільшення інтенсивності зносу. Така схема поширена для метричних різьб.

У разі послідовної схеми розподілу припуску в мітчиків у комплекті змінюється тільки зовнішній діаметр. Чистовий мітчик менш навантажений. Відсутність заниження по середньому діаметру в попередніх мітчиків і неточне їх виготовлення може призвести до браку. Застосовується для трапецеїдальних різьб з широким допуском і для важкооброблюваних матеріалів.

Машинно-ручні

Машинно-ручні одинарні або у комплекті з двох мітчиків – з ручним або верстатним приводом (рис. 19.6). На спеціалізованих підприємствах поширені машинні одинарні – з верстатним приводом (рис. 19.7 та 19.8).

Мітчики зазвичай виготовляють з прямими канавками (рис. 19.8,а). Для забезпечення кращого відведення стружки також застосовують мітчики з кутами нахилу канавок $10 \dots 20^\circ$ (рис. 19.8,б). При нарізуванні різьби в глухих отворах праворізальними мітчиками, приймається правий напрям канавок для виведення стружки з отвору заготовки, а в наскрізних отворах – лівий напрям для направлення стружки вздовж подачі у отвір перед мітчиком.

Гайкові

Гайкові мітчики – для нарізування різьби в гайках на спеціальних верстатах (рис. 19.9). Мають подовжену хвостову частину для нарізання різьби в пакетах гайок, на спеціальних верстатах-автоматах.



Рис. 19.9. Гайкові мітчики
[Toolsua]

Безканавкові

Безканавкові мітчики (рис. 19.10) при довжині різальної частини, що дещо перевищує її довжину, під кутом нахилу до осі $10 \dots 15^\circ$. Напрямок канавки протилежний до напрямку нарізання різьби. Дно канавки розташовується під кутом до осі мітчика $5 \dots 10^\circ$. На калібрувальній частині виконується зворотна конусність не менше $0,2 \text{ мм}$ на 100 мм довжини.

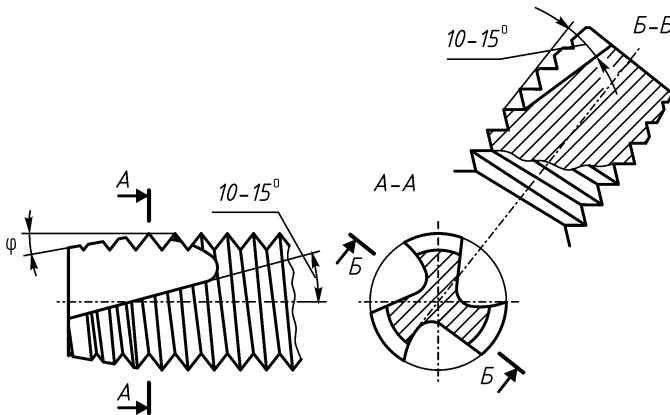


Рис. 19.10. Безканавковий мітчик

Переваги безканавкових мітчиків:

- зниження шорсткості оброблюваної поверхні;
- підвищення міцності;
- повніше використання матеріалу за рахунок збільшення довжини канавки.

Доцільні при обробці легких сплавів, кольорових металів, в'язкої та нержавіючої сталей.

3 шаховим розташуванням

Мітчики з шаховим розташуванням зубців (рис. 19.11). Зрізування зубів мітчиків, у шаховому порядку на калібрувальній частині, дозволяє понизити сили тертя за рахунок зменшення поверхні контакту різьби мітчика і нарізуваної деталі. Рекомендуються для обробки тонкостінних деталей і при обробці в'язких і важкооброблюваних матеріалів.

При обробці жароміцних матеріалів і титанових сплавів, шахове розташування зубів на різальній частині дозволяє, без збільшення крутного моменту, підвищити товщину зрізаного шару і здійснити різання поза зоною наклепаного шару.



Рис. 19.11. Мітчик з шаховим розташуванням зубців
[Ruko]

Мітчик-протяжка

Мітчик-протяжка (рис. 19.12) конструктивно складається з прямої частини l_x (хвостовика) та різальної частини l_p . Мітчики-протяжки застосовуються для нарізування різьб великого профілю, наприклад трапецеїдальних, у наскрізних отворах. Обробка здійснюється за один прохід на токарному верстаті. Мітчик-протяжка відрізняється підвищеною міцністю та жорсткістю, оскільки на відміну від звичайних мітчиків працює не на стискування, а на розтяг. Це дозволяє зменшувати товщину зрізаного шару за рахунок збільшення довжини різальної частини.

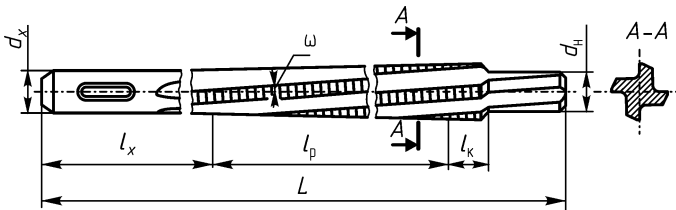


Рис. 19.12. Мітчик-протяжка

19.2.2 Схеми зняття припуску

За схемою зняття припуску мітчики поділяються на:

- генераторні;
- профільні;
- комбіновані.

У мітчиків генераторної схеми різання (рис. 19.13,а) різьба нарізана на циліндрі. Різальна частина утворена шляхом затилування, шліфуванням конуса по зовнішній поверхні з кутом нахилу φ (рис. 19.13).

Мітчики профільної схеми різання (рис. 19.13,б) мають повнопрофільну різьбу, утворену на конусі різальної частини, тобто на різальній частині різьба конічна з кутом нахилу φ .

У мітчиків комбінованої схеми різання (рис. 19.13,в) різальна частина поєднує елементи першою і другою конструкцій.

За профільною й комбінованою схемам різання працюють конічні мітчики, з кутами рівними куту нахилу нарізуваної різьби. У мітчиках для оброблення циліндричних різьб можуть використовуватися усі три схеми різання.

Генераторна

Генераторні мітчики (рис. 19.13,а) отримали найбільш широке поширення при нарізуванні циліндричних різьб, оскільки вони прості у виготовленні і працюють у сприятливіших умовах. Основну роботу різання виконують головні (вершинні) різальні кромки, розташовані на твірній різального конуса.

Генераторну схему різання можна видозмінити так, щоб кожен різальний зуб мітчика зрізував шар металу не по усій ширині западини різьби, а тільки на половині ширини, проте з подвоєною товщиною. Таку схему різання називають прогресивною. Вона забезпечує зменшення крутих моментів і застосовується тільки при нарізуванні великих різьб, в основному трапецеїдальних. На головних різальних кромках мітчика, в цьому випадку, вишліфовують уступи в шаховому порядку від зуба до зуба по гвинтовій лінії.

Профільна та комбінована

Профільні та комбіновані мітчики (рис. 19.13,б та в) у виготовленні складніші, ріжуть повним профілем. Вершинні і бічні різальні

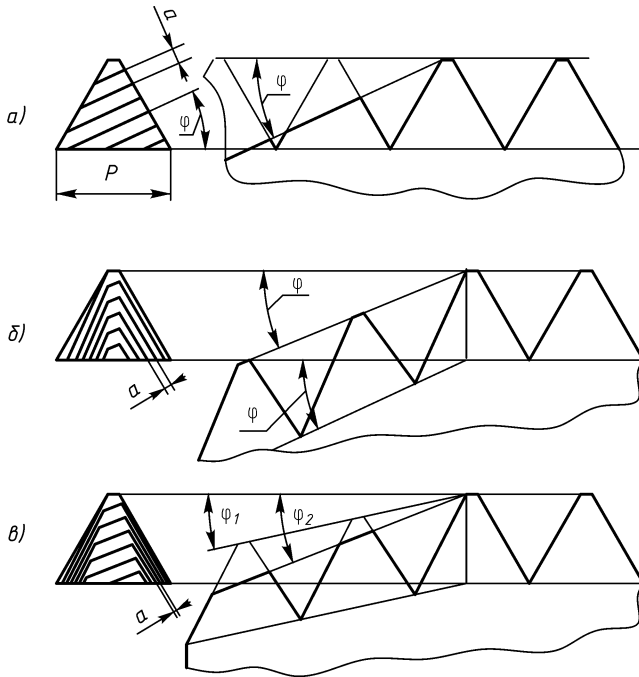


Рис. 19.13. Схеми зняття припуску

P – осьовий крок різьби мітчика;

a – товщина бокового зрізу;

φ – кут заборного конуса;

φ_1 – кут нахилу різьби;

φ_2 – кут заборного конуса.

кромки мітчиків виконують приблизно однакову роботу різання. Зустрічні потоки стружки ускладнюють її деформування, відведення і розміщення у канавках. У результаті – великі крутні моменти і вища шорсткість поверхонь різьби нарізаної у в'язких металах. Тому використовуються вони для нарізування циліндричних різьб рідко (тільки для різьб підвищеної точності у крихких матеріалах, таких, як чавун і бронза).

Знижена точність різьби, нарізаної генераторними мітчиками методом самозатягування, викликана осьовою складовою сили різання P_o . Під її дією, на опорних бічних кромках мітчика, виникають великі тиски, кромки занурюються в матеріал бічних сторін щойно утворених витків різьби і знімають з них додаткову стружку. Закон гвинтового руху мітчика порушується: за один оберт він переміщується на величину меншу кроку різьби. Спотворюється профіль різьби. Западина різьби стає ширше, а її середній діаметр – більше середнього діаметру різьби мітчика. Це явище називають розбиванням різьби по середньому діаметру. Чим більше розбивання, тим більше розсіювання розмірів різьби в партії нарізаних деталей і нижче точність різьбонарізування.

Бічне різання у вказаних умовах здійснюють не лише опорні кромки зубів різальної частини мітчика, але і опорні кромки калібрувальної частини. Найбільше розбивання спостерігається на перших витках різьби (менше опорних кромок сприймає силу P_o), внаслідок чого різьба по середньому діаметру стає конічною.

Сила переміщення шпинделя свердлувального верстата при нарізуванні різьб самозатягуванням спрямована убік P_o , що призводить до посилення вищезгаданих явищ.

Профільні і комбіновані мітчики, в умовах роботи самозатягуванням, також відстають по кроку і здійснюють додаткове бічне різання, але товщина додаткового бічного зрізу менше розрахункової товщини теоретичної схеми різання. Тому осьові сили дуже слабо впливають на спотворення западини різьби та її розбивання.

Зменшити розбивання різьби від дії осьової сили при нарізуванні різьби за генераторною схемою можна шляхом створення умов, коли ця сила сприймається не опорними кромками мітчика, а спеціальними елементами конструкції мітчика, верстата або пристосування. Крім того, розбивання зменшується при зменшенні осьової сили або обмеженні різальної здатності опорних кромок мітчика.

Найкращі результати забезпечуються при нарізуванні різьби по копіру, коли мітчику повідомляється осьове переміщення, що строго

відповідає кроку нарізуваної різьби (осьова сила сприймається деталями копіра), або при виготовленні передньої різьбової напрямної частини в чистового мітчика комплекту (осьова сила сприймається різьбою напрямної частини).

Осьова сила різання зменшується, в разі правих гвинтових стружкових канавок з кутом підйому $\varphi = 30^\circ$, у мітчиків для правої різьби і при виборі раціональних геометричних параметрів мітчика.

Обмеження різальної здатності опорних бічних кромek мітчика досягається зменшенням величини затилування мітчика за профілем (менші задні кути α_1 у бічних різальних кромek), виготовленням мітчиків незатилкованими за профілем або затилкованими не на усій ширині пера (осьова сила сприймається не кромками, а опорними бічними ділянками різьби мітчика з $\alpha_1 = 0^\circ$), затилуванням різьби мітчика за профілем на калібрувальній частині в обидві сторони від середини пера (при врзанні калібрувальної частини мітчика в отвір, осьова сила сприймається бочкоподібними опорними ділянками бічних сторін зубів мітчика).

Зменшення розбивання різьби мітчика, що викликається радіальними коливаннями від биття шпинделя верстата, радіального биття кромek мітчика на різальній частині і іншими причинами, досягається зменшенням масштабності цих чинників або обмеженням радіальних коливань мітчика примусовим напрямом його по нарізуваному отвору.

19.2.3 Конструктивні елементи

Основними частинами мітчика (рис. 19.14) є:

- різальна і калібрувальна частини;
- стружкові канавки, число пір'їв і зубців;
- хвостовик з елементами кріплення.

До геометричних параметрів відносяться:

- кут різального конуса φ , що є кутом у плані;
- передній і задній кути на різальних кромках γ і α ;
- кут нахилу гвинтових стружкових канавок ω ;
- осьовий кут підгострення передньої поверхні λ .

Різальна частина

Різальна частина 1 (рис. 19.14) мітчика виконує основну роботу по зрізуванню припуску, формуванню профілю нарізуваної різьби і видаленню стружки із зони різання. Ця частина визначає точність різьби і стійкість мітчиків. Для розподілу припуску між зубцями, різальна частина виконується на поверхні усіченого конуса, що називається різальним, з кутом φ нахилу твіриної до осі.

Якщо різальна частина виготовляється шляхом зрізування на конус різьби початкового гвинта, то висота зубів на ньому змінна. Довжина різальної частини впливає на продуктивність, стійкість інструмента і точність нарізуваної різьби. Для глухих отворів і чистових комплектних мітчиків довжину різальної частини зменшують до $(1,5 \dots 2)P$, де P – крок різьби. Гайкові мітчики мають довжину $(6 \dots 12)P$, машинно-ручні $6P$.

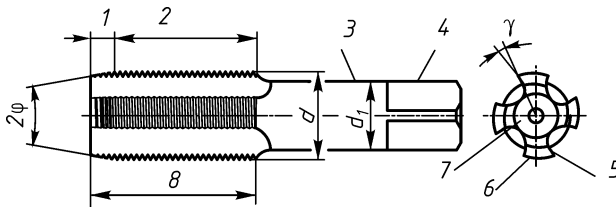


Рис. 19.14. Конструктивні елементи мітчика

Оптимальна товщина зрізуваного шару визначається з урахуванням оброблюваного матеріалу, типу мітчика, вимог до якості обробки. Граничні значення товщини зрізуваного шару $0,02 \dots 0,15$ мм. При товщині менше $0,02$ мм спостерігається не різання, а зминання матеріалу заготовки, оскільки у цьому випадку радіус заокруглення різальної кромки виявляється більше товщини зрізуваного шару. При товщині зрізування більше $0,15$ мм різко погіршується чистота обробленої поверхні.

Діаметр переднього торця мітчика виконують менше діаметру отвору під різьбу на $0,2 \dots 1$ мм для забезпечення направлення мітчика при вході у отвір.

Довжина різальної частини мітчика також залежить від його призначення. При обробці глухих отворів від довжини різальної частини залежить довжина недорізу різьби і її бажано зменшувати. При обробці наскрізних отворів від співвідношення довжини різальної частини і довжини різьби залежить крутний момент різьбонарізу-

вання. Для зменшення крутного моменту, бажано, щоб довжина різальної частини була більшою довжини різбового отвору.

Калібрувальна частина

Калібрувальна частина 2 (рис. 19.14) остаточно формує профіль, забезпечує направлення мітчика при різбонарізанні і є запасом на переточування.

Переважний знос мітчика відбувається по задній поверхні у місці переходу від різальної до калібрувальної частини. Тому переточування раціонально робити як по передній, так і по задній поверхням.

Заточування задньої поверхні різальної частини по конусу, призводить до зменшення довжини калібрувальної частини. Довжина калібрувальної частини мітчика має бути не менше $0,5d$, для великих і середніх мітчиків, і не менше $(1,2...1)d$ для дрібних.

Для усунення заклинювання на калібрувальній частині виконується зворотна конусність за профілем $0,05...0,1$ мм на 100 мм довжини (при обробці легких сплавів – $0,2...0,3$ мм на 100 мм довжини).

Кількість канавок

Кількість канавок Z впливає на товщину зрізуваного шару, а отже на величину крутного моменту різбонарізування. Зменшення кількості канавок знижує схильність мітчика до заклинювання, особливо при обробці в'язких матеріалів. Покращується розміщення стружки в канавці, але погіршується направлення мітчика вздовж отвору в роботі. Кількість канавок вибирається залежно від діаметра d мітчика.

Профіль канавки

Профіль канавки (рис. 19.15) має великий вплив на роботу мітчика. Канавка повинна:

- сприяти стабільному стружоутворенню та стружковідведенню з зони різання;
- забезпечити надійне розміщення стружки, особливо при обробці глухих отворів;
- перешкоджати різанню при вигвинчуванні мітчика з обробленого отвору;

- перешкоджати налипанню і заклинюванню стружки в канавці;
- не мати різких переходів і концентраторів напружень.

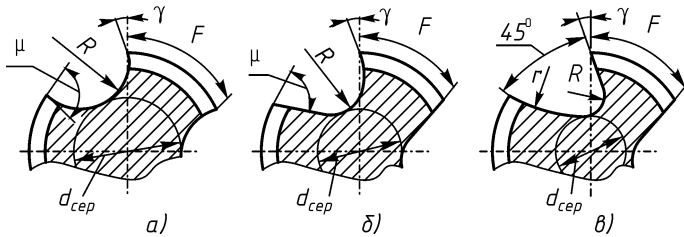


Рис. 19.15. Форма канавки мітчика

Діаметр серцевини

Діаметр серцевини $d_{сер}$ обирається з умови забезпечення достатнього простору для розміщення стружки і міцності мітчика.

Рекомендується поглиблювати канавку на різальній частині, оскільки на ній відділяється більший об'єм стружки, ніж на калібрувальній частині.

Для різальної частини доцільно зменшувати діаметр $d_{сер}$ серцевини до 0,7...0,8 від номіналу на калібрувальній частині.

Ширина пера

При виборі ширини F пера необхідно враховувати, що зі збільшенням цього параметра зростає зусилля тертя і зростає небезпека забивання канавки стружкою, але з іншого боку збільшується кількість переточувань і покращується направлення мітчика в роботі.

Для різальної частини доцільно зменшувати ширину пера F до 0,6...0,7 від номіналу на калібрувальній частині.

Форма канавки

Радіусна форма стружкової канавки (рис.19.15,а) проста у виготовленні, але має несприятливу геометрію:

- передній кут змінюється від від'ємних значень, на початку різальної частини (точка 1), до позитивних значень у кінці різальної частини (точка 2);

- кут μ при неробочій кромці більше 90° , що призводить до різання при вигвинчуванні мітчика з обробленого отвору.

Радіусна форма стружкової канавки застосовується для гайкових мітчиків при обробці в'язких матеріалів.

Складна форма (рис. 19.15, б та в) вимагає спеціального інструмента для виготовлення, але забезпечує кращу геометрію:

- кут при неробочій кромці менше 90° ;
- передній кут зменшується уздовж різальної частини, але залишається позитивним в усіх точках різальної кромки і має максимальне значення там, де довжина вершинної різальної кромки максимальна.

Неробоча кромка

Кут при неробочій кромці μ (рис. 19.15) доцільно зменшувати для усунення різання при вигвинчуванні мітчика з обробленого отвору. Проте, надмірне зменшення цього кута призводить до затискання стружки при вигвинчуванні. Рекомендується $\mu = 82 \dots 85^\circ$. Також, для запобігання різанню при вигвинчуванні, можна зняти фаску під кутом 30° або притупити шліфувальним кругом гострий куточок у неробочій кромки уздовж усього зуба.

Передня поверхня

Передня поверхня може мати прямолінійну або криволінійну твірну. Прямолінійна твірна поширеніша, оскільки спрощує заточування мітчика і не призводить до різкої зміни величини переднього кута по висоті різби, як у мітчиків з криволінійною твірною. Проте, при обробці в'язких матеріалів, криволінійна твірна передньої поверхні сприяє кращому утворенню і відведенню стружки.

Напрямок канавок

Прямі канавки (рис. 19.16, а) простіші у виготовленні, але створюють невизначений напрям сходу стружки і різні, за величиною, бічні передні кути на правій і лівій стороні профілю, що призводить до зниження стійкості. Інколи їх заборну частину l заточують під кутом λ для полегшення відведення стружки.

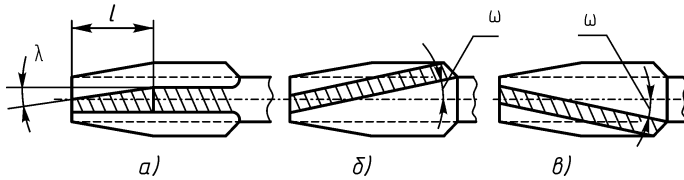


Рис. 19.16. Напрямок канавок мітчика

Гвинтові канавки з напрямом (кут ω) протилежним до напрямку нарізання різби (рис. 19.16,б) забезпечують підвищення стійкості за рахунок вирівнювання величини бічних передніх кутів на правій і лівій стороні профілю. Схід стружки йде в бік оброблюваного отвору, тому такі канавки раціонально застосовувати для нарізування різби в наскрізних отворах.

Гвинтові канавки з напрямом однойменним напрямку нарізання різби (рис. 19.16,в) забезпечують схід стружки в бік хвостовика. Застосовуються при обробці глухих отворів, але геометрія сама несприятлива.

Геометричні параметри

Основні геометричні параметри різальної частини мітчика представлені на рис. 19.17.

Передній кут γ

Кут між дотичною до передньої поверхні і радіусом, проведеним у точку різальної кромки, через який проходить основна площина.

Цей кут змінюється по висоті зубця, оскільки точки різальних кромок лежать на різних діаметрах. Слід зазначити, що для кріпильної різби з стандартною висотою профілю різби перепад цих діаметрів невеликий і зміна кута незначна. Враховуючи важкі умови роботи мітчика, передній кут, як правило, приймають додатним. Для

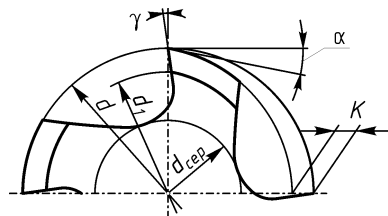


Рис. 19.17. Геометричні параметри мітчика

обробки сталей середньої твердості рекомендується обирати $\gamma = 12 \dots 15^\circ$; для крихких матеріалів (чавун, бронза, латунь), а також для твердої сталі $\gamma = 0 \dots 5^\circ$; для кольорових металів і сплавів $\gamma = 16 \dots 25^\circ$.

Задній кут α

Кут між вектором швидкості різання, через який проходить площина різання, та дотичною до задньої поверхні.

Цей кут створюється шляхом затилування вершинних різальних кромek зубців за спіраллю Архімеда. Рекомендується приймати кут $\alpha_v = 6 \dots 12^\circ$ (меншого значення набуває для ручних мітчиків). На бічних різальних кромках при генераторній схемі різання задні кути відсутні, оскільки зрізувані шари мають незначну величину.

Для запобігання заклинюванню мітчиків при вивертанні з отвору мітчики затилують на певну величину затилування. Величину затилування K визначають за формулою:

$$K = \frac{\pi d}{Z} \operatorname{tg} \alpha$$

де d – номінальний (зовнішній) діаметр мітчика;
 Z – кількість зубців мітчика;
 α – задній кут на калібрувальній частині.

Затилування калібрувальної частини мітчика призводить:

- до зниження сил тертя;
- до зменшення опорної поверхні і погіршення напрямлення мітчика в роботі;
- до швидкого зменшення діаметра мітчика при переточуваннях;
- до затискання стружки між задньою затилованою поверхнею і нарізуваною різьбою при вигвинчуванні мітчика з обробленого отвору.

Тому в ручних мітчиків калібрувальна частина не затилюється (рис. 19.18,а). Гайкові мітчики не вивертаються з обробленого отвору, тому затилюються на калібрувальній частині по зовнішньому діаметру. Для забезпечення достатнього контакту затилюють не на усю ширину зубця, а залишають 1/3 незатилованою (рис. 19.18,б).

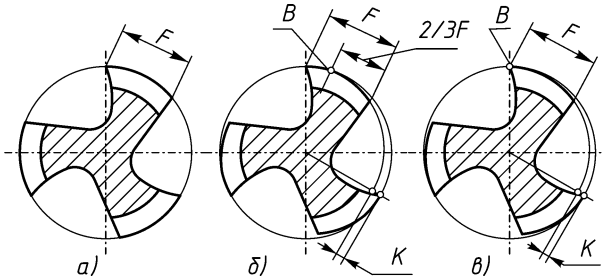


Рис. 19.18. Затилювання мітчиків

19.3 Різьбонарізні плашки

Плашка – це гайка, перетворена на різальний інструмент шляхом свердління стружкових отворів і формування, на зубах різальних пір'їв, передніх і задніх кутів. Плашки застосовують для нарізування зовнішньої різьби на болтах, гвинтах, шпильках і інших кріпильних деталях.

Плашка різбова

Гайка, перетворена на різальний інструмент шляхом свердління стружкових отворів і формування на зубах різальних пір'їв, передніх і задніх кутів.

Плашки застосовують для нарізування зовнішньої різьби на болтах, гвинтах, шпильках і інших кріпильних деталях. За формою зовнішньої поверхні плашки бувають: круглі, квадратні, шестигранні, трубні. Для слюсарних робіт плашки робляться розрізними і затилюються у воротках.

Найбільше застосування знайшли плашки круглі, як найбільш технологічні і прості в експлуатації. Вони виготовляються з каліброваних прутків швидкорізальної сталі на токарних верстатах-автоматах.

На рис. 19.19 показана конструкція круглої плашки і її основні конструктивні елементи та геометричні параметри.

Конструктивні параметри включають:

- зовнішній діаметр плашки D ;
- товщину B ;
- діаметри стружкових отворів d і діаметра їх центрів $d_{\text{стр}}$;
- ширину просвіту c ;

- ширину пера b ;
- мінімальну товщину стінки e .

Геометричні параметри плашки включають:

- передній кут γ ;
- задній кут α ;
- і кут різального конуса φ .

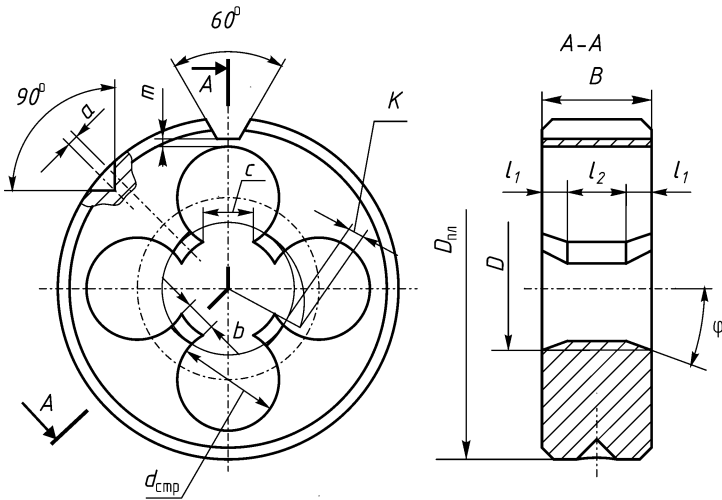


Рис. 19.19. Різьбонарізна плашка

На зовнішній поверхні плашки є 3 або 4 конічні поглиблення з кутом при вершині 90° для кріплення у воротку або у кільці. На цій же поверхні плашок виконаний трапецієвидний паз з кутом 60° , що утворює перемичку завтовшки $t = 0,4 \dots 1,5$ мм, яку після двох-трьох переточувань плашки розрізають.

Геометричні параметри.

Різальна частина (рис. 19.20) виконується з двох сторін плашки, що підвищує термін її служби. Кут різального конуса 2φ залежить від оброблюваного матеріалу і зменшується зі збільшенням його міцності. Кут 2φ може набувати значень від 25° до 90° .

Передній кут γ задають на внутрішньому діаметрі різби і вибирають залежно від оброблюваного матеріалу, $\gamma = 10^\circ \dots 30^\circ$.

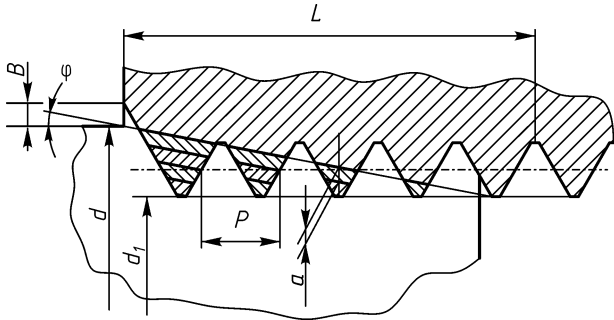


Рис. 19.20. Різальна частина плашки

Задні кути отримують шляхом затилування по архімедовій спіралі на різальній частині. Величина затилування $K = \frac{\pi d_1}{z}$ де z - число пір'їв плашки, залежне від діаметру різьби, $z = 3 \dots 12$, α - задній кут, $\alpha = 6 \dots 9^\circ$.

Передній кут вимірюється між радіусом, проведеним у точку різальної кромки зубця (через нього проходить основна площина), і дотичною до передньої поверхні (рис. 19.21).

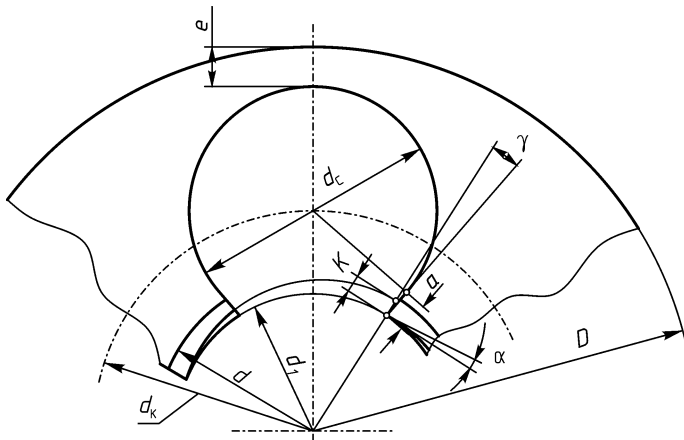


Рис. 19.21. Геометричні параметри плашки

Оскільки передня поверхня є частиною поверхні стружкового отвору, то передній кут виходить дуже великим. Його можна зменшити зрізуванням по передній поверхні зенкером (до термообробки) або підгострюванням шліфувальними кругами малих діаметрів (пі-

ся термообробки) на спеціальних верстатах при видаленні частини перемички, що залишається після свердління стружкових отворів. При цьому прямолінійна ділянка передньої поверхні робиться дещо більше, ніж висота профілю різьби. Кут заточування вибирається залежно від оброблюваного матеріалу: $\gamma = 10...15^\circ$ для твердих матеріалів; $\gamma = 20...25^\circ$ – для легких; $\gamma = 15...20^\circ$ у стандартних плашок.

При обробці в'язких матеріалів для збільшення стружкового отвору і направлення стружки у бік подачі аналогічно мітчикам, іноді виконують підгострювання по передній поверхні різальних зубців під кутом до осі плашки $\lambda = 15^\circ$. Задній кут α_b на вершинних кромках зубців різального конуса отримують методом затилювання по архімедовій спіралі. У стандартних плашок $\alpha_b = 6...9^\circ$.

19.4 Різьбові фрези

Різьбові фрези (рис. 19.22) по конструкції розділяють на дискові (однориткові) і циліндричні (гребінчасті), які є набором дискових різьбових фрез.

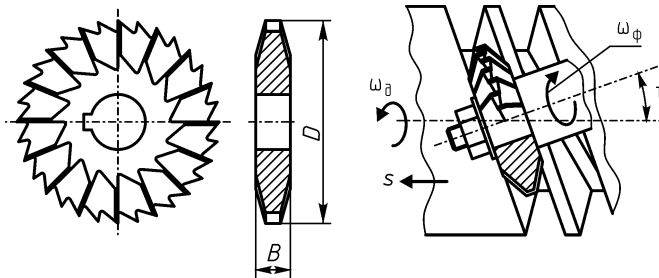


Рис. 19.22. Дискові різьбові фрези

Форма зуба дискової різьбової фрези відповідає профілю нарізуваної різьби. Фрези для нарізування трапецеїдальної різьби переважно застосовують для нарізування різьб з великим кроком, багатоходових і довгих.

Кінцеві фрези (рис. 19.23) застосовують для фрезерування внутрішніх різьб.

Ці фрези розділяють на праворізальні і леворізальні. Насадні фрези оснащені прямими або гвинтовими канавками.

Нерівномірність роботи фрези з прямими канавками обумовлена тим, що усі зуби фрези починають і закінчують свою роботу у про-

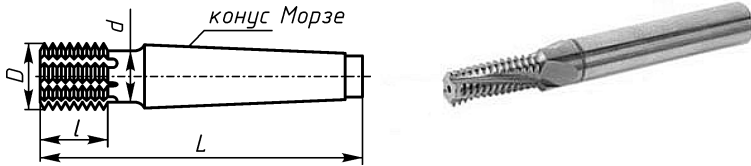


Рис. 19.23. Кінцеві фрези

цесі нарізування одночасно. Це призводить до виникнення вібрації при різанні і, як наслідок, до отримання різьби невідповідної якості.

Складніші у виготовленні фрези з гвинтовими канавками позбавлені цього недоліку, але вони не забезпечують однакового різання усіма різальними кромками, оскільки з одного боку профілю гострі, а з іншого – притуплені, що призводить до виникнення осьового зусилля під час різання. Для компенсації цих недоліків зазвичай застосовують кут нахилу зубців у межах $5 \dots 10^\circ$.

Розрахунок окремих елементів дискових і циліндричних різьбових фрез роблять тими ж методами, як і звичайних фрез. Передній кут фрез слід приймати залежно від матеріалу оброблюваної деталі в межах від 4° до 22° . Якщо передній кут перевищує 4° , то кут профілю має бути скоректований. Для виготовлення коротких різьб застосовують, в основному, циліндричні фрези з формою зубця відповідного профілю нарізуваної різьби.

19.5 Різьбонарізні головки

Різьбонарізні головки призначені для нарізування внутрішніх і зовнішніх різьб і є аналогом збірних конструкцій мітчиків і плашок, пір'я яких може переміщатися у радіальному напрямі й розкриватися на величину, достатню для того, щоб після закінчення нарізування різьби головку не згвинчувати, а просто зняти з деталі у осьовому напрямі.

Тому різьбонарізні головки, маючи усі переваги збірних інструментів, забезпечують більш високу продуктивність різьбонарізання і дозволяють регулювати розміри.

Принципові схеми конструкцій різьбонарізних головок представлені на рис. 19.24, у кінці нарізування різьби плашки 1 автоматично приховуються у корпусі 2 (рис. 19.24,а) або розходяться (рис. 19.24,б-г) для відведення головок у початкове положення. Шток 3 піднімає

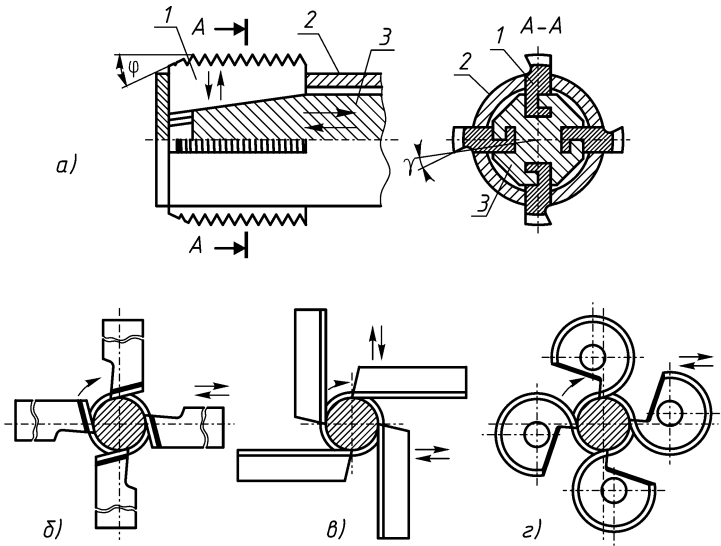


Рис. 19.24. Різьбонарізні головки

або ховає різальні елементи. При підготовці до роботи головка закривається вручну, при роботі на токарних і револьверних верстатах. Такі головки називають необертальними. У обертальних головок, для токарних автоматів відкривання і закривання головки здійснюється автоматично.

Різьальні елементи плашок до головок для внутрішніх різьб за конструкцією, способом утворення і геометричними параметрами подібні пір'ям у мітчика.

Плашки та елементи до головок (рис. 19.25) для зовнішніх різьб є різьбонарізними гребінками або різьбонарізними фасонними різцями.

Нарізування різьби головками здійснюється, в основному, методом самозатягування, при якому під впливом осьових сил відбувається підрізування опорних сторін витків нарізуваного різьблення, так само як і при нарізуванні мітчиками, лише середній діаметр різьби нарізуваного болта стає менше.

Конструкція круглих різьбонарізних гребінок дозволяє зменшити підрізування, шляхом обмеження різальної здатності опорних кромок, за рахунок зменшення задніх кутів.

Кут нахилу різальних кромок, спільно з кутом відведення стружки, направляє стружку вздовж подачі головки. Більш висока то-

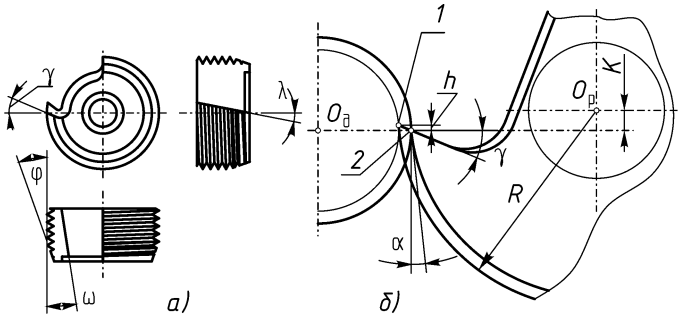


Рис. 19.25. Геометричні параметри різьбонарізних гребінок

чність різьбонарізання, простота конструкції і виготовлення, а також більша, ніж у інших типів голівок, кількість переточувань забезпечили головкам з круглими радіальними гребінками переважне застосування в машинобудуванні.

19.6 Питання для самоконтролю

1. Накреслити різьбовий різець.
2. Чи бувають фасонні різьбові різці?
3. Які методи врізання застосовують під час утворення різьб?
4. Яке призначення мають мітчики?
5. Які форми забірного конуса мають мітчики?
6. Яка різниця між ручними та машинними мітчиками?
7. Чому для утворення різьб застосовують комплект мітчиків, а не один мітчик?
8. Для чого застосовують гайкові мітчики і які типи гайкових мітчиків існують?
9. Опишіть конструкцію безканавкового мітчика,
10. В яких випадках застосовують мітчики із шаховим розташуванням різальних елементів?
11. У чому полягає генераторна схема утворення різьби?
12. У чому полягає профільна схема утворення різьби?
13. У чому полягає комбінована схема утворення різьби?
14. Що калібрує калібрувальна частина мітчика?
15. Яке застосування мають різьбонарізні плашки?
16. Де розташовано забірний конус плашки?
17. За якою схемою працюють різьбові фрези?
18. Опишіть принцип дії різьбонарізної радіальної головки.
19. Опишіть принцип дії різьбонарізної тангенціальної головки.
20. Яку форму мають різальні елементи різьбонарізних головок?

20 ШЛІФУВАННЯ РІЗЬБ

Шліфування застосовується для обробки точної різьби в сталевих деталях після загартування (твердість вище HRC 40), а також у деталях з важкооброблюваних жароміцних сплавів і кераміки. Важливою якістю шліфування є мала шорсткість поверхні різьби ($Ra = 0,32$ мкм). Зокрема його використовують при виготовленні різьбонарізного і різьбонакатного інструмента, різьбових калібрів, черв'яків, черв'ячних фрез, ходових гвинтів точних передач.

20.1 Шліфування одонитковим кругом

Шліфування одонитковим кругом (рис. 20.1) застосовують для обробки зовнішніх і внутрішніх різьб з кроком більшим за 0,5 мм.

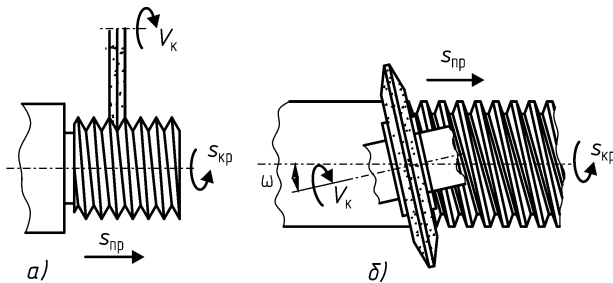


Рис. 20.1. Шліфування різьби одонитковим кругом

Обробка виконується за 2...10 проходів. Менше проходів потрібно для дрібних різьб або різьб попередньо сформованих іншими методами. Шліфувальний круг, що має в перерізі профіль різьби, встановлюється перпендикулярно заготовки або з нахилом на кут підйому нитки різьби і обертається із швидкістю різання, а деталь отримує повільне обертання (кругову подачу) і поступальну подачу уздовж своєї осі, пов'язану з обертальним рухом. Одониткові круги правлять одним або двома алмазними олівцями за допомогою спеціальних пристосувань. Цим способом можна шліфувати різьби різного профілю і довжини із забезпеченням високої точності різьби (відхилення до 5 мкм по середньому діаметру і 2...3 мкм по кроку).

20.2 Шліфування багатонитковим кругом

Шліфування багатонитковими кругами (рис. 20.2), у порівнянні з одноститковими кругами, забезпечує більш високу продуктивність, але меншу точність (15...30 мкм по діаметру і 5...8 мкм по кроку).

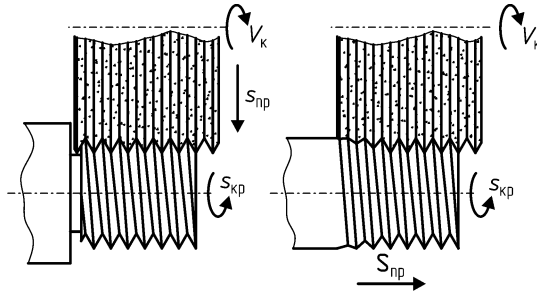


Рис. 20.2. Шліфування різьби багатонитковим кругом

Внаслідок паралельності осей круга і заготовки та наявності у круга кільцевих витків, відбувається деяке розбивання профілю різьби. З цієї причини багатониткові круги не використовують при шліфуванні різьб з великим профілем і великим кутом підйому витків. Шліфування різьб багатонитковим кругом, що має кільцеві витки, роблять двома способами – врізним і повздовжнім шліфуванням.

Врізне шліфування різьби використовується при шліфуванні коротких різьб (до 40 мм) і деталей з кільцевою нарізкою. Спочатку виконується врізання, яке відбувається приблизно за половину обороту заготовки, після чого заготовка, для формування повного профілю різьби, робить один оборот переміщуючись у повздовжньому напрямі на крок.

Повздовжнє шліфування застосовують у тих випадках, коли довжина різьби значно більше ширини багатониткового круга. При обробці, шліфувальний круг встановлюють на повну глибину профілю різьби. З боку торця, що врізається, круг правлять на конус з кутом 5...10° до осі круга. При повздовжньому русі столу перші гребені шліфувального круга виконують попереднє шліфування, а подальші – остаточне. Цей метод не застосовується, якщо бурти або інші елементи конструкції перешкоджають шліфуванню на прохід.

Різьби з кроком до 4 мм доцільно шліфувати багатонитковим кругом по всій поверхні заготовки. При великих кроках, доцільно заздалегідь нарізувати різьбу лезовим інструментом.

Багатониткові шліфувальні круги можуть мати гвинтові або кільцеві витки. Застосування способу шліфування багатонитковим кругом з гвинтовими канавками обмежується тим, що частота обертання круга і заготовки має бути однаковою. Це вимагає, щоб верстат мав жорсткий кінематичний зв'язок між шпинделем шліфувального круга і шпинделем заготовки.

20.3 Питання для самоконтролю

1. Для чого шліфують різьби?
2. Чому односторонні шліфувальні круги мають таку назву?
3. Чому багаторіжковий шліфувальний круг має таку назву?
4. Коли застосовують односторонні круги для утворення різьби?
5. Коли застосовують багаторіжковий круг для утворення різьби?
6. За скільки проходів здійснюється шліфування різьби одностороннім кругом?
7. Чи можливо багаторіжковим кругом одночасно шліфувати різьбу на усю її довжину?
8. Яке положення має вісь багаторіжкового круга відносно осі деталі?

21 ПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМУВАННЯ РІЗЬБ

Накатування різьби ґрунтується на використанні пластичних властивостей металів. Формування профілю відбувається за рахунок перерозподілу елементарних об'ємів матеріалу заготовки, при цьому її початковий об'єм залишається приблизно постійним.

Під впливом пластичної деформації змінюються фізико-механічні властивості поверхневого шару; утворюється наклеп, що підвищує твердість і міцність; виникають залишкова напруження стиску; видозмінюється форма і орієнтація кристалів. Наклеп поверхневого шару, що утворюється при накатуванні, напруження стиску сприяють підвищенню циклічної міцності різьбових з'єднань.

Процес накатування різьби в порівнянні з обробкою різанням продуктивніший. Накатування різьби можна здійснювати на вуглецевих, легованих, нержавіючих сталях, на мідних, алюмінієвих, титанових сплавах, якщо їх відносне подовження не менше 12%, а твердість $HRC < 35$. В окремих випадках можна накатувати різьбу при меншій пластичності й великій твердості металу (відносне подовження не менше 8%, а твердість — до 40 HRC), але стійкість різьбонакатного інструмента при цьому різко знижується.

Використовують наступні способи накатування різьби (рис. 21.1):

- з тангенціальною подачею інструмента на заготовку;
- з радіальною подачею інструмента на заготовку;
- з повздовжнім переміщенням заготовки або інструмента.

На рис. 21.1 зображено:

а) – накатування плоскими плашками:

- 1 – плоскі плашки;
- 2 – заготовка.

б) – накатування двома роликами різних діаметрів:

- 3, 4 – ролики;
- 2 – заготовки.

в) – накатування роликом, що обертається, і нерухомим сектором:

- 6 – нерухомі сектори;
- 5 – сектори, що обертаються;
- 2 – заготовки.

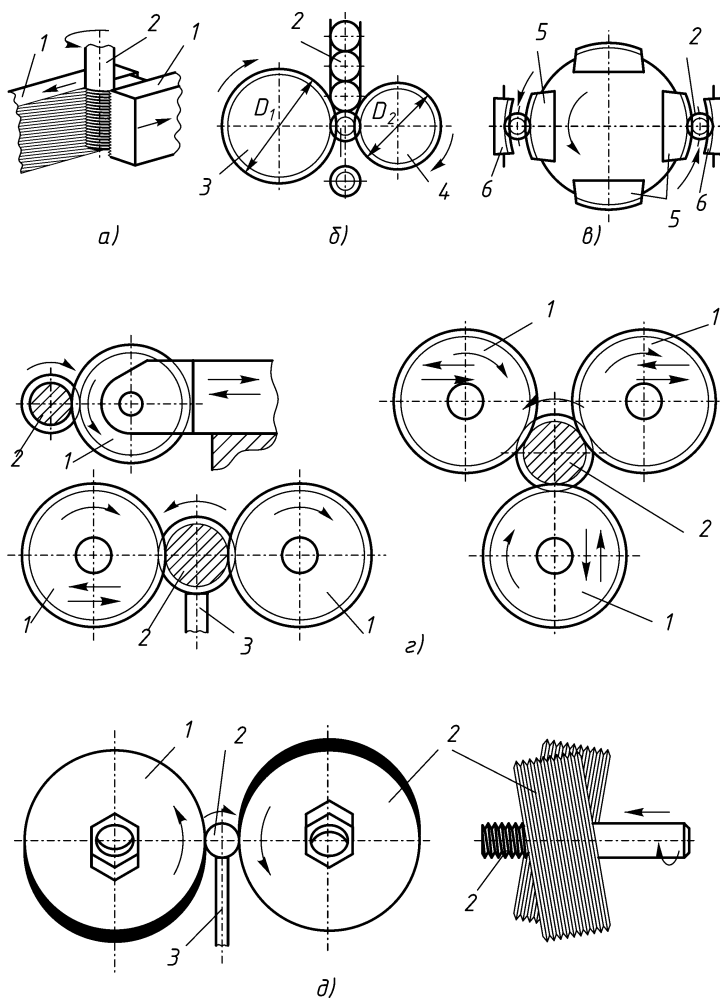


Рис. 21.1. Пластичне утворення різьб

г) – накатування роликами з радіальною подачею:

- 1 – ролики;
- 2 – заготовки;
- 3 – стойка.

д) – накатування роликами з повздовжньою подачею:

- 1 – ролики;
- 2 – заготовка.

При тангенціальній подачі в якості інструмента використовують плоскі плашки (рис. 21.1,а), два ролики різних діаметрів (рис. 21.1,б), плашки(ролик), що обертаються, і нерухомий сектор (чи сектори) (рис. 21.1,в).

При радіальній подачі в якості інструмента використовують один, два або три ролики однакового діаметра (рис. 21.1,г). При повздовжньому переміщенні, що базується на принципі самозатягування заготовки або інструмента в процесі накатування (рис. 21.1,д), як інструмент використовуються ролики, встановлені на спеціальних верстатах або в різьбонакатних головках, які використовують на універсальних металорізальних верстатах.

21.1 Накатування плоскими плашками

Накатування плоскими плашками (рис. 21.1,а) застосовують для отримання різьби діаметром 1...27 мм на болтах, гвинтах і шурупах. Плоскі плашки працюють в комплекті з двох штук: одна плашка нерухома, а інша разом з повзуном верстата здійснює поступально-обертальний рух. Напрямок кута підйому різьби на плашках виконують протилежно напрямку накочуваної різьби. У напрямі осі накочуваної деталі різьбові профілі плашок мають бути зміщені відносно базової поверхні на $0,5P$ (де P – крок різьби) з допустимим відхиленням $\pm 0,02$ мм.

Робоча сторона нерухомої плашки має різальну, калібрувальну і скидаючу частини. Робоча сторона рухливої плашки прямолінійна. Рухлива плашка довша за нерухому, що необхідно для запобігання затягування накочуваної деталі при зворотному ході рухливої плашки. Розміри накатних плашок для метричної різьби і основні елементи профілю цих плашок регламентовані.

Накатні плашки виготовляють із сталей марок Х12У, Х12Ф1, Х12ВФ, Х6ВФ або 9ХС. Твердість плашок після термічної обробки складає 58...62 HRC.

Шорсткість поверхні різьби, утвореною за допомогою накатаної плашки, залежить від початкового стану і розмірів заготовки, якості плашок і відповідає 6...8 класу чистоти.

21.2 Накатування роликами

Накатування двома роликами

Накатування двома роликами з різними діаметрами (рис. 21.1,б на с. 364) використовується для різьб діаметром 1...10 мм. Спосіб особливо зручний для накатування деталей без головок, з різьбою по усій довжині. Осі роликів, що мають гвинтову нарізку, паралельні осі накочуваної заготовки і обертаються в одному напрямі, але з різними швидкостями.

Подана заготовка захоплюється роликами і, обертаючись навколо своєї осі, одночасно переміщується між роликами, внаслідок чого й накочується різьба заданих розмірів. Для забезпечення захоплення заготовки роликами і повної профілізації різьби, потрібне певне співвідношення між середніми діаметрами ведучого і веденого роликів, а також між середнім діаметром ведучого ролика і середнім діаметром накочуваної різьби, при якому коефіцієнт тертя між роликом і заготовкою був би більше кута захоплення заготовки роликом.

Точність різьби, накатаної двома роликами різного діаметра, відповідає за усіма параметрами 6 квалітету, шорсткість поверхні профілю різьби $Ra = 2,5 \dots 0,32$ мкм.

Накатування роликом, що обертається

Заготовка подається між роликом, що обертається, і нерухомим сектором (рис. 21.1,в на с. 364). У процесі накатування різьби заготовка здійснює планетарний рух, з одночасним обертанням відносно власної осі і осі ролика з незначним ковзанням, отримує відбиток різьби інструмента. Різьба на ролику і секторі багатозахідна, з однаковими кутами підйому. Для накатування правої різьби – різьба на ролику ліва, а на секторі права. Для накатування лівої різьби – різьба на ролику права, а на секторі ліва.

Накатування різьби роликом, що обертається, і нерухомим сектором виконують на спеціальних верстатах або на спеціальних пристосуваннях, що встановлюються на токарному верстаті.

Накатування різьби одним, двома і трьома роликами

Накатування різьби одним і трьома роликами використовується рідко. Накатування двома роликами з осями, паралельними осі заготовки, застосовують для різьб діаметром від 0,3 до 120 мм на суцільних і порожнистих заготовках.

Ролики мають однаковий діаметр і обертаються в один бік. Між роликами на підтримувальному ножі розташована заготовка, яка вільно обертається і переміщується одним з роликів у радіальному напрямі; рух радіальної подачі здійснюється одним роликом. Радіальні подачі при накатуванні двома роликами залежать від кроку різьби і механічних властивостей металу деталі.

Швидкість накатування двома роликами з радіальною подачею залежить від механічних властивостей матеріалу деталі. Для латуні, алюмінієвих сплавів, м'якої сталі $v = 80 \dots 100$ м/хв, для сталі середньої твердості $v = 40 \dots 60$ м/хв, а для твердої сталі і титанових сплавів $v = 12 \dots 20$ м/хв.

Розміри різьбоканатних роликів вибирають виходячи з діаметра різьби і можливостей верстата, тобто найбільшої і найменшої відстані між осями шпинделів. Розміри роликів для накатки регламентовані і виготовляються із сталі марок Х12М, Х6ВФ.

21.3 Накатування з повздовжнім переміщенням

В якості інструмента для накатування використовують два ролики з кільцевою нарізкою. Відстань між осями роликів залишається сталою. Осі роликів перехрещуються під кутом, що відповідає куту підйому різьби по середньому діаметру. При кожному оберті, навколо своєї осі, заготовка переміщується в осьовому напрямі на величину кроку різьби. Одним і тим же комплектом роликів накатується різьба одного кроку на заготовках різних діаметрів і різного напрямку.

Діаметри накатних роликів не залежать від діаметра різьби. Ролики з кільцевою нарізкою мають різальну і калібрувальну частини. Оскільки ролики з кільцевою нарізкою встановлюються відносно осі деталі під кутом, розміри кроку і кута профілю різьби ролика мають бути скореговані.

Накатування різьби з повздовжньою подачею заготовки іноді здійснюється роликами з гвинтовою нарізкою. У цьому випадку, переміщення заготовки ґрунтується на різниці кутів підйому різьби деталі і роликів за умови, що їх осі паралельні. Осьовий крок різьби ро-

ликів дорівнює кроку різби деталі, а кут підйому витків ролика – більше, або менше кута підйому різби деталі.

Різбонакатні головки, що містять у своїй конструкції накатні ролики, за способом роботи на верстаті поділяються на обертальні та нерухомі, а по циклу роботи реверсивні і неререверсивні (розкриваються або не розкриваються).

21.4 Накатування внутрішніх різб

Отримання внутрішніх різб методом пластичної деформації може бути рекомендовано, головним чином, для деталей із кольорових металів та сплавів, а також чорних металів і сплавів за умови що діаметр різби знаходиться в межах від $M3 \times 0,5$ до $M10 \times 1,5$ при довжині до $3d$ (для алюмінію до $6d$). У якості накатного інструмента використовують розкатники із сталі марок P18, X12M, X12Ф1 або твердого сплаву. Розкатник за формою нагадує мітчик (без канавок) і складається з різального конуса, калібрувальної частини і хвостовика (рис. 21.2).

Різальна частина виконана у вигляді конічної різби з повним профілем, калібрувальна частина має довжину від 8 до 20 витків (чим менше крок різби, тим більше витків). У поперечному перерізі робоча частина має тригранну форму (огранку). В якості кривої для затилування профілю поперечного перерізу розкатників прийнята Архімедова спіраль. З метою зниження величини крутного моменту розкатники, з діаметром понад 5 мм, слід забезпечувати мастильними канавками вздовж робочої частини на неробочих ділянках профілю.

Швидкість накатування в сталях становить 6...10 м/хв, а в кольорових металах і сплавах – до 30 м/хв. При підвищених вимогах до якості поверхні ($Ra = 0,63 \dots 0,15$ мкм) швидкість накатування становить до 16 м/хв.

Для накатування внутрішньої різби спеціальне устаткування і оснащення не потрібне.



Рис. 21.2. Розкатники
[Centerdrill]

21.5 Питання для самоконтролю

1. Опишіть способи накатування різьби, їх переваги та недоліки.
2. Опишіть спосіб накатування різьби з тангенціальною подачею.
3. Опишіть спосіб накатування різьби з радіальною подачею.
4. Опишіть спосіб накатування різьби з переміщенням уздовж деталі.
5. Накреслити схему накатування різьби двома роликами.
6. Накреслити схему накатування різьби трьома роликами.
7. Накреслити кінематичну схему утворення різьби плоскими плашками.
8. Із якого матеріалу виготовляють накатні плашки та ролики?
9. Чи можливо утворення внутрішньої різьби методами пластичного деформування?
10. З якою швидкістю відбувається накатування різьби?

Частина VIII

АБРАЗИВНИЙ ІНСТРУМЕНТ

22 АБРАЗИВНИЙ ІНСТРУМЕНТ

Не слід плутати абразивний інструмент з абразивним матеріалом, це різні речі. Абразивний інструмент, це інструмент виготовлений з абразивного матеріалу. Сам по собі абразивний матеріал, ще не є інструментом.

Отже, відповідно до ДСТУ 2233-93 маємо таке визначення абразивного інструмента.

Абразивний інструмент

Різальний інструмент призначений для абразивного оброблення.

Абразивний інструмент становить окрему групу інструментів (абразивні круги, сегменти, бруски і головки) в яких різальними елементами є зерна абразивного матеріалу високої твердості.

Абразивні зерна зв'язані між собою так званою зв'язкою, яка зв'язує окремі зерна в інструмент певної форми та розмірів.

Абразивний інструмент має три відмінності від лезового різального інструмента.

Немає лез

Абразивний інструмент не має чітко визначених різальних лез.

Їх роль відіграють абразивні зерна довільної форми та геометричних параметрів.

Невідома кількість лез

Неможливо визначити загальну кількість різальних елементів абразивного інструмента, котрі приймають участь в процесі різання. Їх кількість безперервно змінюється.

Самозагострювання

Абразивний інструмент має здатність самозагострюватись. Тобто частково або повністю відновлювати свої різальні здатності безпосередньо в процесі роботи.

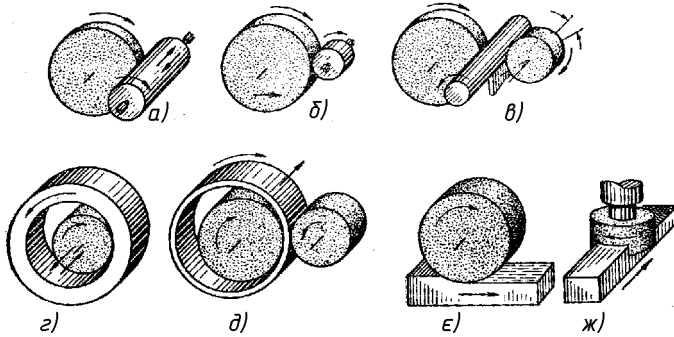


Рис. 22.1. Схеми шліфування

- a* – кругле зовнішнє шліфування із поздовжньою подачею;
- б* – кругле зовнішнє шліфування із поперечною подачею;
- в* – зовнішнє безцентрове шліфування;
- г* – внутрішнє шліфування із поздовжньою подачею;
- д* – внутрішнє безцентрове шліфування;
- е* – плоске шліфування периферією круга;
- ж* – плоске шліфування торцем круга.

На рис. 22.1 наведені основні кінематичні схеми роботи абразивного інструмента, які застосовують у загальному машинобудуванні.

22.1 Знос та відновлення

22.1.1 Відновлення

Залежно від характеристики абразивного інструмента і умов його роботи процес абразивного оброблення протікає з частковим або повним відновленням працездатності (самозагострюванням).

Зауваження. Абразивне оброблення супроводжується одночасно двома процесами – зносом і самовідновленням (самозагострюванням) різальних елементів.¹

Повне відновлення працездатності

При шліфуванні з повним відновленням працездатності (самозагострюванням) зерна, що втратили здатність різати роздробляються під

¹У цьому полягає основна відмінність абразивного інструмента від лезового. Хоча обидва видаляють припуск методом різання з утворенням стружки.

впливом зусилля різання (що збільшилося внаслідок затуплення) і оголяють гострі різальні кромки інших зерен. Різальна здатність круга безперервно відновлюється.

При роботі абразивного інструмента в процесі різання одночасно приймає участь значна (дуже значна) кількість зерен. Ступінь “затупленості” (втрати різальних властивостей) кожного з них різна.

Отже, під час роботи абразивного інструмента частина зерен вже оновила, а інша працює на межі затуплення. Як результат – інструмент працює одночасно і гострими зернами і такими, що майже втратили різальну здатність.

Часткове відновлення працездатності

При шліфуванні з частковим самозагострюванням лише невелика частина зерен, що втратили здатність до різання, руйнується повністю. Інша частина зерен продовжують утримуватись у тілі абразивного інструмента на зважаючи на те, що повністю втратила різальні здатності.

Зауваження. Чистові і напівчистові операції шліфування виконуються з частковим самозагострюванням круга і лише при плоскому чорновому шліфуванні сегментними кругами спостерігається повне самозагострення.

22.1.2 Знос

При невідповідності абразивного інструмента умовам його використання замість самозагострювання (повного або часткового) відбувається знос. На відміну від лезового інструмента знос абразивний інструмент має два типи зношування:

- “засалювання” робочої поверхні абразивного інструмента;
- руйнація абразивних зерен та втрата форми інструмента.

Засалювання

Засалювання це процес згладжування робочої поверхні інструмента унаслідок стирання різальних кромок і засміченням пір стружкою та роздробленою зв'язкою. При цьому робота круга супроводжується інтенсивним виділенням тепла, а висока температура в зоні шліфування погіршує мікрогеометрію й якість поверхневого шару обробленої поверхні.

Зовні робоча поверхня “засаленого” інструмента має блискучий вигляд. Вона наче покрита тонкою плівкою металу, що виблискує в

світлі. Це відбувається в наслідок того, що частки оброблюваного матеріалу потрапляють у пори між зернами і виблискують.

Наявність у порах часток металу заготовки (продуктів шліфування) призводить до того, що стружка, котра утворилась у процесі різання не має де подітись, вона міцно застрягла в абразивному інструменті і під час його руху треться по поверхні заготовки.

Зовнішня проява “засалювання” абразивного інструмента це значне підвищення температури в зоні різання, як наслідок – припикання на поверхні оброблюваної деталі.

Видалити застряглу стружку можливо тільки механічним способом – правкою абразивного інструмента.

Руйнація зерен

Знос абразивного інструмента через руйнацію абразивних зерен має чотири типи (рис. 22.2) руйнації:

- утворення плоскої поверхні;
- часткове подрібнення абразивного зерна;
- повне подрібнення абразивного зерна;
- викришування зерна.

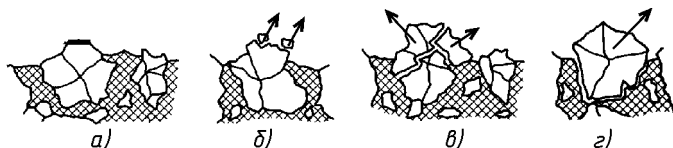


Рис. 22.2. Типи зносу

Утворення плоскої поверхні

Утворення плоскої поверхні на абразивних зернах (рис. 22.2,а) відбувається в наслідок суто абразивного впливу оброблюваного матеріалу на абразивне зерно. Тверді включення, що є в оброблюваному матеріалі, зрізують частину абразивного зерна, у результаті чого на зерні утворюється плоска площадка і зерно перестає працювати.

Часткове подрібнення

При частковому подрібненні абразивного зерна (рис. 22.2,б) від його тіла відколюються невеликі частки. Таке зерно не обов'язково втрачає свої різальні властивості. Адже замість зруйнованих різальних кромки на зерні утворюються нові гострі кромки і зерно продовжує роботу.

Повне подрібнення

Повне подрібнення абразивного зерна (рис. 22.2, в) відбувається внаслідок дії значних зусиль, котрі розколюють зерно. Такий вид зносу призводить до втрати не тільки різальних властивостей, а й до втрати форми абразивного інструмента.

Викришування зерна

Втрата форми та розмірів абразивного інструмента відбувається через обсіпання працездатних цілих абразивних зерен (рис. 22.2, г). Обсіпання виникає через значні зусилля різання та недостатню міцність зв'язки.

Зовнішня проява обсіпання – втрата форми інструмента, яка супроводжується зниженням якості обробленої поверхні. Єдиний спосіб запобігти обсіпанню – це “зменшення” режимів різання.

22.2 Характеристики інструмента

Абразивний інструмент, що застосовують у загальному машинобудуванні та інструментальному виробництві, розрізняють за наступними параметрами:

- форма і розміри;
- склад абразивного матеріалу;
- номер зернистості;
- тип зв'язки;
- твердість інструмента²;
- номер структури.

Форма абразивного інструмента

Абразивний інструмент може мати досить різні форми. Застосування абразивного інструмента, тієї чи іншої форми, значною мірою залежить від заготовки, яку він обробляє.

Стосовно інструментального виробництва кожен різальний інструмент (для свого загострення) потребує певний абразивний інструмент, певної форми та розмірів.

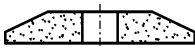
²Твердість інструмента і твердість абразивного матеріалу, з якого виготовлений інструмент – це різні речі. Різні за призначенням абразивні інструменти, виготовлені з одного абразивного матеріалу можуть мати різну твердість як інструмент (як об'єкт що зберігає свою форму).

Розмір заточувального абразивного круга зазвичай вибирають залежно від верстата та розмірів інструмента, що підлягає заточуванню.

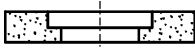
Форма абразивного круга (інструмента) залежить здебільшого від інструмента який заточують



Плоский прямого профілю (ПП). Заточування різців та багатолезових інструментів по переднім або заднім поверхням.



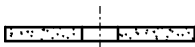
Плоский з конічним нахилом (ЗП). Заточування по переднім поверхням розверток, фрез, протяжок.



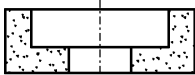
Плоский з односторонньою виточкою (ПВ). Заточування токарних різців по заднім поверхням.



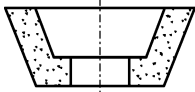
Плоский з конічною виточкою (ПВК). Заточування різців по заднім поверхням та довбачів по передній конічній.



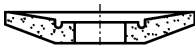
Диск (Д). Канавки для розділювання стружки в різців. Підточування робочої частини спіральних свердел.



Чашка циліндрична (ЧЦ). Заточування токарських різців на спеціальних верстатах для заточування різців.



Чашка конічна (ЧК). Заточування фасонних різців та багатолезового інструмента. Є практично універсальною формою для більшості інструментів.



Тарілка (ІТ). Заточування передніх поверхонь протяжок та черв'ячних фрез.



Головка циліндрична (ГЦ). Заточування плашок по переднім та заднім поверхням.

Склад абразивного матеріалу

В інструментальному виробництві для загострення різального інструмента застосовують такі абразивні матеріали (окрім алмазів та кубічного нітриду бору).

Електрокорунд нормальний

За кольором буває від сіро-коричневого до темно-коричневого, та від рожевого до темно червоного. Містить 86-91% Al_2O_3 . Має найвищу продуктивність серед інших матеріалів.

Електрокорунд білий

За кольором білий, інколи світло-рожевий. Електрокорунд білий твердіший за електрокорунд нормальний, але не придатний до грубого шліфування. Містить 96-99% Al_2O_3 . Застосовують для фасонної профільної обробки.

Карбід кремнію зелений

За кольором від зеленого до темно-зеленого. Має дуже гострі різальні зерна. Містить до 97% SiC. За твердістю поступається лише алмазу.

Карбід кремнію чорний

За кольором чорний з металевим виблискуванням. Містить до 95% SiC. Менш твердий, але більш міцний, ніж карбід кремнію зелений.

Наждак

За кольором від чорного до чорно-синього. Як матеріал для абразивних кругів майже не застосовують. Містить до 25-30% Al_2O_3 . Здебільше це наждачні паперові стрічки низької якості.

Корунд

Як і наждак майже не має застосування через низьку твердість. Містить до 95% Al_2O_3 .

Зернистість

Зернистість абразивного матеріалу класифікується за розмірами абразивного зерна – номеру зерна, по гранулометричному складу, що має низку номерів зерен – номеру зернистості. Номер зернистості (розмір зерна) визначають методом двох суміжних граничних сіток:

- зерна абразивного порошку просіюють через два сита які мають різний розмір вічка;
- перша сітка має вічко трохи більше за другу (нижню) сітку.

Отже, номер зерна (зернистість абразиву) складається з двох цифр:

- перша цифра це номер (розмір вічка) сітки через яку пройшло абразивне зерно;
- друга цифра це номер (розмір вічка) сітки через яке абразивне зерно не пройшло.

Наприклад, абразивний матеріал, що має зернистість 32-63 пройшов (просипався) через сито з розміром вічка 63 мкм, але не пройшов (затримався) на сітці з розміром вічка 32 мкм.

Зернистість абразивного інструмента, що застосовують в інструментальному виробництві при заточуванні різального інструмента орієнтовно така:

Позначення зернистості	Розмір зерна, мкм	Застосування
100	1250 – 1000	Дуже грубе оброблення інструмента.
80	1000 – 800	
63	800 – 630	Попереднє, чорнове заточування інструментів.
50	630 – 500	
40	500 – 400	
32	400 – 315	
25	315 – 250	Заточування звичайного різального інструмента середніх габаритів.
20	250 – 200	
16	200 – 160	
12	160 – 125	
		Заточування різального інструмента малого розміру.

Зауваження. При виготовленні абразивного інструмента застосовують зерна одного номера зернистості, і лише для отримання кругів високої щільності суміш зерен різної зернистості.

Зв'язка

При виготовленні абразивного інструмента застосовуються зв'язки, що зв'язують (склеюють) між собою окремі зерна. За хімічним складом зв'язки можуть бути:

- неорганічні – керамічна, силікатна і магнезійна;
- або органічні – бакелітова й вулканітова.

Нижче наведено перелік основних зв'язок, що використовують в інструментальному виробництві при загострюванні різального інструмента.

Керамічна зв'язка (К)

Керамічна зв'язка за хімічною стійкістю, спротиву температурі та воді – є найкращою серед інших. Керамічні круги (круги на основі керамічної зв'язки) добре зберігають форму різальної поверхні, однак дуже чутливі до ударів та навантажень, що згинають.

Практично, абразивні круги виготовлені на основі керамічної зв'язки є найбільш поширеними в інструментальному виробництві.

Силікатна зв'язка (С)

Круги на силікатній зв'язці мають не дуже високу продуктивність через слабе утримання зерна в абразивному інструменті. Силікатна зв'язка досить чутлива до високих температур. Застосовують круги на силікатній зв'язці здебільшого для сухого шліфування деревообробних ножів великого розміру. В інструментальному виробництві має невелике застосування.

Магнезитова зв'язка (М)

Круги виготовлені на основі магнезитової зв'язки дуже чутливі до волого середовища. В інструментальному виробництві мають мале застосування.

Бакелітова зв'язка (Б)

Бакелітовий абразивний інструмент має високу міцність та пружність, однак реагує із лужними розчинами. У порівнянні з іншими зв'язками, процес абразивного оброблення супроводжується меншим виділенням тепла.

Вулканітова зв'язка (В)

Вулканітові круги більш пружні за інших, але дуже схильні до втрати всіх властивостей при підвищенні температури різання більш 150°. В інструментальному виробництві застосовують дуже рідко.

Твердість абразивного інструмента

Не слід плутати твердість абразивного інструмента з твердістю абразивного матеріалу, це різні параметри.

Твердість інструмента

Під твердістю абразивного інструмента розуміють опір зв'язки вириванню абразивних зерен з поверхневого шару інструмента, під впливом зовнішніх навантажень.

Визначення і контроль твердості абразивного інструмента проводять одним з наступних методів:

- вимірюванням глибини лунки, що утворюється на поверхні інструмента під дією струменя кварцевого піску, що викидається з спеціального сопла під тиском повітря;
- вимірюванням глибини лунки, що утворюється від втискування в тіло інструмента сталеві кульки під дією постійного навантаження на приладі Роквелла.

Твердість абразивного інструмента характеризують за наступною шкалою:

Твердість		Позначення
М	– м'який	М1, М2, М3
СМ	– середньо м'який	СМ1, СМ2
С	– середній	С1, С2
СТ	– середньо твердий	СТ1, СТ2, СТ3
Т	– твердий	Т1, Т2
ВТ	– вельми твердий	ВТ1, ВТ2
ЧТ	– занадто твердий (російською – чрезвычайно твердый)	ЧТ1, ЧТ2

В інструментальному виробництві при загострювання інструмента, виготовленого із інструментальних сталей, застосовують абразивний інструмент твердістю СМ.

Рекомендовані галузі застосування абразивних кругів різної твердості:

- | | |
|----|---|
| М | – шліфування, з інтенсивним самозагострюванням інструмента, високотвердих загартованих сталей; зубошліфування, резешліфування. Чистове шліфування і суперфінішування. |
| СМ | – шліфування, з інтенсивним самозагострюванням інструмента, заточування і доведення різального інструмента. |
| С | – чистове шліфування (кругле, безцентрове і внутрішнє). Плоске шліфування периферією круга. Шліфування чавунів. Обдирне шліфування торцем круга. |
| СТ | – кругле і безцентрове врізне шліфування. Профільне шліфування. Обробка роз'єднаних поверхонь. Обдирне шліфування чавунів. |
| Т | – обдирне шліфування, зняття задирок на поковках і литві. Відрізні круги. Ведучі круги для безцентрального шліфування. Хонінгування загартованих сталей. Врізне профільне шліфування з великим зніманням металу |
| ВТ | – обдирне шліфування й зачистка в металургії й ковальському та ливарному виробництві. Правка шліфувальних кругів. |

Структура

Під структурою абразивного інструмента розуміють кількісне співвідношення між абразивними зернами, зв'язкою і порами (що заповнені повітрям).

Розрізняють 13 номерів структур (№ 0 – 12). Номер структури визначає відносна кількість зерен на одиниці поверхні або в одиниці об'єму круга, при цьому чим менше номер структури, тим щільніше розташовані абразивні зерна. Структури поділяються на три групи:

- щільні (№ 0, 1, 2 і 3);
- середньої щільності (№ 4, 5 і 6);
- і відкриті (№ 7, 8, 9, 10, 11 і 12).

Кожному номеру структури відповідає певний відсоток основної фракції абразивних зерен в інструменті:

Номер структури	Відсоток основної фракції	Номер структури	Відсоток основної фракції
0	62	7	48
1	60	8	46
2	58	9	44
3	56	10	42
4	54	11	40
5	52	12	38
6	50		

На рис. 22.3 схематично показана структура абразивних інструментів різної структури (пористості).

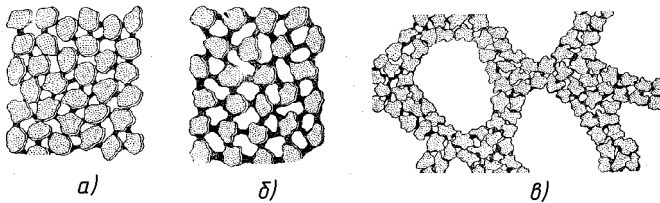


Рис. 22.3. Структура абразивного інструмента

- а – щільна структура (чистове оброблення);
 б – структура середньої щільності (загальне оброблення);
 в – відкрита структура (чорнове оброблення).

Зауваження. Відсоток основної фракції, це відсоток абразивного матеріалу в абразивному інструменті. Все інше, це об'єм зв'язки та пор між зернами.

Зауваження. Отже, абразивні інструменти, що мають однакові зернистість та твердість, але мають різну структуру – мають різну кількість абразивних зерен.

Залежно від відсотка вмісту основної фракції номер структури додатково позначають літерним індексом:

- В – висока концентрація
 П – підвищена концентрація
 Н – нормальна концентрація
 Д – мінімальна допустима концентрація

Рекомендовані галузі застосуванні абразивних кругів різної структури (різного номеру структури):

- № 0-3 – круги для оброблення кулькових підшипників.
- № 3-4 – профільне шліфування, відрізнні круги.
- № 4-6 – кругле завішане шліфування, безцентрове, плоске периферією круга.
- № 7-9 – заточка різального інструмента, внутрішнє шліфування.
- № 8-10 – загострення інструментів оснащених твердим сплавом.
- № 8-12 – шліфування різьб та інших профілів малого розміру.

22.3 Маркування

Маркування абразивного інструмента, крім марки заводу виробника і сорту продукції, включає цілу низку параметрів залежно від зовнішнього вигляду і точності геометричної форми:

- характеристику абразивного матеріалу й зв'язки інструмента, номер зернистості, ступінь твердості, рід зв'язки, номер структури;
- позначення, що характеризують форму перетину і основні розміри;
- граничні робочі окружні швидкості або граничну частоту обертів круга;
- клас статичного дисбалансу .

Абразивний інструмент маркується повністю або частково залежно від його розміру і форми.

Приклад 22.1 (Маркування кругів)

Абразивний круг має такі позначення:

КАЗ 14А 40 П С2 6 К5
А 2кл
ПП 500×50×305
35 м/сек

Розшифровка маркування:

КАЗ	–	марка заводу виробника
14А	–	марка абразивного матеріалу
40	–	номер зернистості
П	–	індекс зернистості
С2	–	ступінь твердості
6	–	номер структури
К5	–	тип зв'язки
А	–	клас точності інструмента
2 кл	–	клас неврівноваженості
ПП	–	форма круга
500	–	зовнішній діаметр круга
50	–	висота (товщина круга)
305	–	діаметр посадкового отвору
35 м/сек	–	допустима швидкість

22.4 Вибір

Правильний вибір абразивного інструмента в значній мірі визначає успішність роботи на шліфувальному верстаті. Доброякісний інструмент може виявитися непридатним, якщо його характеристики не відповідають умовам роботи.

Круг вибирають враховуючи: фізичні властивості оброблюваного матеріалу, припуски на обробку, вимоги до шорсткості поверхні деталі, розмірів і геометрії оброблюваної поверхні, кут контакту між кругом і деталлю, конструкцію і тип верстата.

Зв'язка

Вибір зв'язки залежить від характеру тиску на круг у процесі шліфування, від впливу тепла на оброблювану поверхню деталі і від ступеня й інтенсивності теплоутворення та видалення тепла.

- | | | |
|---------------|---|---|
| Керамічна (К) | – | усі види абразивної роботи за винятком розрізки та утворення вузьких пазів. |
| Силікатна (С) | – | плоске шліфування торцем круга. Загострювання великих широких ножів. Застосування охолоджувальної рідини неможливо. |

- Магnezійна (М) – тільки “сухе” оброблення без застосування охолоджувальної рідини.
- Бакелітова (Б) – будь які види абразивного оброблення. Застосування в рідині, що містить більш 1,5% лужного розчину небажано.
- Вулканітова (В) – відрізи та прорізи роботи. Утворення вузьких пазів. Фасонне шліфування.

Абразивний матеріал

Вибір абразивного матеріалу визначається в основному характеристикою оброблюваного металу

- Електрокорунд нормальний – сталь конструкційна, вуглецева, легувана (окрім швидкорізальної). Чавун ковкий.
- Електрокорунд білий – загартована інструментальна сталь усіх марок.
- Корунд – ведучі круги при безцентровому шліфуванні.
- Карбід кремнію зелений – інструмент оснащений твердим сплавом.
- Карбід кремнію чорний – чавун білий, відбілений.

Зернистість

Вибір зернистості абразивного матеріалу залежить від необхідної шорсткості і “точності” обробки поверхні, характеристик оброблюваного металу (твердість, пластичність) і величини припуску, що знімається.

Правило 22.1 (Зернистість #1)

Чим вище вимоги до шорсткості та “точності” розміру і форми оброблюваної поверхні, чим вище твердість оброблюваного матеріалу, тим більш дрібнозернистим повинен бути круг.

Грубозернисті круги застосовують при шліфуванні м'яких і в'язких матеріалів, а також при обдирному шліфуванні де є небезпека засалювання робочої поверхні круга стружкою.

Круги середньої зернистості використовують для більшості абразивних робіт.

Правило 22.2 (Зернистість #2)

На фінішних операціях необхідно застосовувати абразивні круги малої зернистості.

В інструментальному виробництві для загострювання різального інструмента виготовленого із інструментальної сталі застосовують круги, що мають зернистість за номерами в межах 40...16.

Твердість

Під час роботи абразивним інструментом, правильно підібраним по твердості, зв'язка повинна утримувати абразивні зерна при навантаженнях (що виникають під час роботи) до певного стану їх затуплення (зносу).

Однак, після втрати зерном своїх різальних властивостей, зв'язка повинна зруйнуватись та визволити зерно. У протилежному випадку абразивне зерно, втративши свої різальні здатності, почне перешкоджати процесу різання.

Виконання цієї вимоги забезпечує нормальний знос і достатню стійкість абразивного круга до правки при режимах шліфування, що задовольняють умовам раціонального ведення процесу шліфування.

У самих загальних випадках можливо враховувати наступні рекомендації призначення твердості абразивного інструмента:

- | | |
|---------------|---|
| M3, CM1 | – шліфування та заточування твердого сплаву та інструмента із інструментальної сталі. |
| CT1, CT2, CT3 | – чорнові роботи з великим припуском. |
| C2, CT1, CT2 | – операції відрізки. |
| M2, C2 | – шліфування конструкційних сталей. |

Рекомендується користуватися наступним правилом вибору твердості круга.

Правило 22.3 (Вибір твердості)

Чим твердішим є оброблюваний матеріал заготовки, тим м'якішим має бути абразивний інструмент. І навпаки.

Структура

Вибір структури абразивного інструмента залежить від характеристики оброблюваного матеріалу. Структурні круги рекомендується застосовувати для наступних операцій:

- № 7, 8, 9 плоске шліфування торцем круга, відрізка, шліфування і заточування твердого сплаву;
- № 5, 6 більшість видів абразивного оброблення і заточування різального інструмента;
- № 3, 4 шліфування, при якому потрібно зберегти профіль абразивного інструмента.

Правило 22.4 (Вибір структури)

Чим грубіше оброблення, тим більш відкритою повинна бути структура абразивного інструмента.

22.5 Кріплення

Правильне і надійне кріплення й установка круга на верстаті повинні забезпечити: безпечну роботу і виключити можливість вібрації верстата і деталі, яка знижує точність обробки, спотворює форму оброблюваної поверхні та підвищує знос круга.

Залежно від типу і конструкції верстата, а також від форми і розмірів круга застосовують за рис.22.4 або механічне кріплення (гвинтом, фланцями, у фланцях з гайкою, у фланцях гвинтом), або кріплення склеюванням (наклейка кільцеподібних кругів, насадка на шпильку).

Між затискними фланцями і довкруги з обох боків, повинні ставитися прокладки з пружного матеріалу (картон, шкіра) завтовшки 0,5-3 мм (залежно від діаметру круга). Прокладки повинні перекривати всю затискну поверхню фланців і виступати по всьому колу назовні за фланець на 3-5 мм.

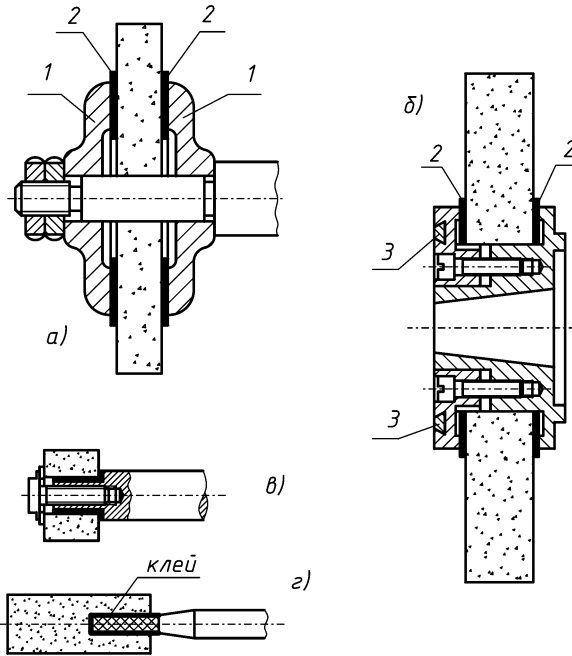


Рис. 22.4. Кріплення абразивних кругів

- а* – кріплення звичайного кругу;
- б* – кріплення кільцевого кругу на перехідних фланцях;
- в* – кріплення на гвинті;
- г* – кріплення на шпильці (склеювання);
- 1* – бокові металеві фланці;
- 2* – картонні запобіжні прокладки;
- 3* – вставки для балансування.

Поверхні контакту затискних фланців, прокладок і круга повинні бути чистими і добре прилягати одна до одної.

Застереження. Ні в якому разі неприпустимо застосовувати в якості прокладок пластики або гуму³. Ці матеріали мають схильність змінювати свою форму та розміри під впливом тиску (навантажень). Через це з часом кріплення погіршується і круги починають коливатись під час роботи.

Наклейку кругів малого розміру виконують целулоїдом, розчиненим в ацетоні до в'язкості сметани, рідким склом, сіркою, цементом Сореля, бакелітовим лаком.

22.6 Випробування та балансування

Круги великого діаметра, що призначені для роботи з окружними швидкостями 15 м/сек і більш, безпосередньо перед установкою на шліфувальний верстат необхідно випробувати на міцність при частоті обертання на 50% більшою, ніж та яка буде під час роботи інструмента. Випробування проводять протягом 5...10 хвилин.

Балансування суцільних і набірних кругів проводять на спеціальному пристосуванні (рис. 22.5), що має паралельні горизонтальні вали. Балансування кругів проводиться на робочих кріпильних оправках. Тобто на тих оправках на яких вони будуть встановлені на верстаті.

Розрізняють чотири класи нерівновагі (незбалансованості) абразивних кругів. Незбалансованість кругів визначають умовним параметром “маса незбалансованості”.

Маса незбалансованості

Це умовна маса (у грамах) умовної точки, яка розташована на зовнішньому радіусі круга.

Отже, маємо такі класи незбалансованості виражені в грамах маси умовної точки, що умовно розташована на периферії круга

³Ці матеріали під навантаженням просто витікають зовні. Результат непередбачуваний, але зазвичай дуже неприємний, особливо, коли круг розривається на великій швидкості.

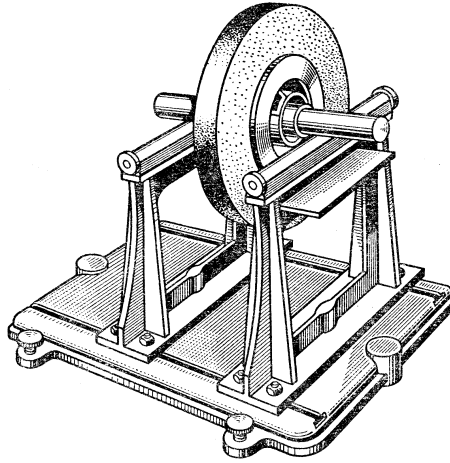


Рис. 22.5. Пристрій для балансування кругів [3]

Маса круга, кг	Клас незбалансованості			
	1	2	3	4
0,2 – 0,25	2,5	4,0	6,0	12,0
2,0 – 2,50	7,5	12,0	20,0	40,0
4,0 – 5,0	11,0	17,0	27,0	55,0
8,0 – 10,0	15,0	25,0	40,0	75,0

У роботі шліфувальні круги повинні бути захищені спеціальними кожухами належної міцності.

Кожен круг, після його установки на шліфувальному верстаті, повинен бути пущений в хід “в холосту” при робочій частоті обертання на час не менше 5 хв.

22.7 Відновлення працездатності

Зазвичай відновлення працездатності круга забезпечується його правкою. Часовий період між двома правками називають періодом стійкості абразивного інструмента.

У середньому, період стійкості абразивного інструмента залежить від характеру технологічної операції і може біти прийнятий таким:

- для зовнішнього круглого шліфування 3...15 хв;
- для внутрішнього круглого шліфування 1...8 хв;
- для плоского шліфування 10...20 хв.

Отже, як бачимо для абразивного інструмента період стійкості значно менший ніж для лезового.

Правка круга

Правка це процес примусового подрібнення абразивних зерен приповерхневого шару абразивного інструмента з метою відновлення їх різальної здатності.

Метою правки є:

- відновлення різальної здатності, втраченої в результаті притуплення кромки різальних зерен або засмічення пор стружкою і роздробленою зв'язкою;
- надання кругу потрібного профілю і розмірів, що змінилися через нерівномірності зносу;
- усунення радіального (або торцевого) буття, що виникло в результаті нерівномірного зносу робочих поверхонь абразивного круга.

Момент затуплення круга і порушення правильності форми і розташування його робочої поверхні проявляється наступними зовнішніми ознаками:

- погіршенням чистоти і зменшенням точності розмірів оброблюваної поверхні;
- появою припикання (якщо це не є наслідком надмірно “жорсткого” режиму шліфування);
- зменшенням інтенсивності зняття припуску на обробку;
- появою додаткових шумів, пов'язаних з вібрацією оброблюваної деталі або частин верстата (при справному стані верстата і належному кріпленні деталі).

Для правки абразивних кругів застосовують:

- алмаз синтетичний (алмазні олівці);
- металевий інструмент – ролики із зернами надтвердого матеріалу;
- шарошки (набори металевих дисків).

Алмазні олівці

Насправді алмазні олівці не є алмазними. Алмазним олівцем називають полий металевий циліндр 2 (рис. 22.6) заповнений дрібним алмазним порошком 1 синтетичного походження.

Робочу частину (вершину) алмазного олівця розташовують нижче осі обертання абразивного круга на 2...3 мм. Одночасно його нахиляють під кутом 15...20°. Таке розташування олівця необхідне з огляду на безпеку його використання.

Режим правки

Режим правки алмазними олівцями: поперечна подача 0,02...0,035 мм, подовжня подача 0,2...0,3 м/хв; швидкість круга нормальна робоча.

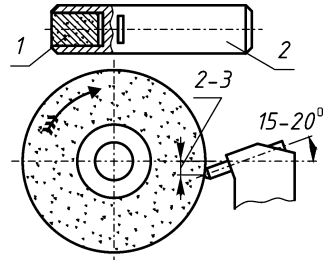


Рис. 22.6. Правка олівцем

Правка роликами

Безалмазну правку роликом виконують таким чином. Правильний інструмент (ролик), укріплений на верстаті в пристрої, вільно обертається навколо своєї осі та щільно притискається до поверхні круга, що підлягає правці. Рух обертання передається від круга до ролика.

Правильний ролик натискає на зерна абразивного круга і ті під дією тиску (від ролика) руйнуються (розколюються) відновлюючи працездатність абразивного інструмента.

Правка шарошкою

Шарошка складаються з штампованих хвилястих дисків (рис. 22.7) з маловуглецевої сталі, загартованої до твердості HRC 50-60. Правку шарошками застосовують переважно для правки шліфувальних кругів, що виконують попередню обробку.

Такі диски набирають на оправку по 5-7 штук. Процес правки аналогічний до правки роликами.

Диски хвилясті, без отворів застосовують для правки кругів, що виконують попередню і остаточну обробку поверхонь на верстатах безцентрового шліфування і плоского шліфування торцем круга.

Інколи замість хвилястих дисків застосовують плоскі диски (без хвиль), але якість правки значно гірша – на поверхні круга можуть утворюватись кільцеві канавки.

Шарошки з фасонним профілем (накатний ролик) застосовують для правки фасонних кругів, що призначаються для нарізування багатониткового різьб, шліфування дискових різців та інших фасонних деталей. Фасонні шарошки виготовляють з інструментальної вуглецевої, легованої або швидкорізальною сталей і гартують на твердість HRC 62-64.

Якість правки значною мірою залежить від правильної наладки механізму верстата і пристрою (в якому встановлюють правильний інструмент), дотримання режимів і методів ведення процесу правки.

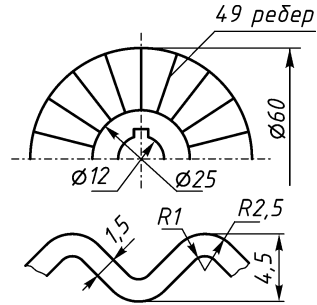


Рис. 22.7. Шарошка

22.8 Загострення різального інструмента

Загострення та доводіння є основними операціями, що забезпечують формування геометричних параметрів різальних інструментів та відновлення їх різальних властивостей після затуплення.

Продуктивність та якість загострення та доводіння інструментів залежать від матеріалу різальних елементів, матеріалу абразивних інструментів та їх технічних характеристик, режимів оброблення.

Твердий сплав

Для загострювання різального інструмента, оснащеного твердим сплавом, застосовують синтетичні алмазні круги, або круги із надтвердих матеріалів.

Шліфування твердих сплавів електрокорундом практично неможливе. Це пояснюється тим, що твердість електрокорунду близька до твердості карбідів вольфраму і нижче твердості карбідів титана. Тому зерна електрокорунду в процесі шліфування швидко затуплюються і шліфувальний круг втрачає працездатність.

Для загострення інструментів з твердого сплаву використовують алмазні круги зернистістю 125/100...80/63. Доводіння здійснюється алмазними кругами зернистістю 50/40...20/16.

Але треба враховувати, що в сучасному інструментальному виробництві, інструмент оснащений твердим сплавом – це інструмент із змінними різальними елементами виготовленими із твердого сплаву. Тому сучасний різальний інструмент оснащений змінними різальними твердосплавними елементами зазвичай не переточують. Зношені різальні елементи просто замінюють новими⁴.

Інструментальна сталь

На відміну від твердосплавного інструмента, інструмент виготовлений із інструментальних сталей зазвичай переточують для поновлення працездатності. Для загострення різального інструмента виготовленого з інструментальних сталей доцільно враховувати наступні рекомендації:

Матеріал деталі	Операція	Зернистість	Твердість	Структура
Сталь вуглецева	чорнова	40-25	СМ1 - СМ2	8
	чистова	25-16		8
Сталь швидкорізальна	чорнова	50-25	СМ2 - С1	6
	чистова	25-16		5

Круги з електрокорунду нормального зернистістю 40. . . 16 можуть використовуватись для загострення інструмента з високовуглецевих та низьколегованих інструментальних сталей.

Круги з електрокорунду білого зернистістю 40. . . 10 використовують для загострення інструмента із високовуглецевих, низьколегованих та середньо легованих інструментальних сталей.

⁴Більш того, сучасні фірми-виробники твердосплавних різальних елементів обмінюють зношені пластини на нові. Заощаджуючи, таким чином, на сировині.

22.9 Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення терміну “абразивний інструмент”.
2. Перелічить відмінності абразивного інструмента від лезового.
3. У чому полягає самовідновлення різальної здатності абразивного інструмента?
4. Перелічить типи руйнації абразивних зерен абразивного інструмента.
5. Назвіть основні (геометричні) форми абразивного інструмента.
6. Дайте визначення терміну “зернистість” абразивного інструмента.
7. Перелічить види зв'язок абразивного інструмента.
8. Вкажіть основні характеристики та галузь застосування керамічної зв'язки.
9. Вкажіть основні характеристики та галузь застосування силікатної зв'язки.
10. Вкажіть основні характеристики та галузь застосування магнетитової зв'язки.
11. Вкажіть основні характеристики та галузь застосування бакелітової зв'язки.
12. Вкажіть основні характеристики та галузь застосування вулканітової зв'язки.
13. У чому полягає твердість абразивного інструмента?
14. Поясніть у чому різниця між твердістю абразивного матеріалу, та твердістю абразивного інструмента.
15. Назвіть основні марки твердості абразивного інструмента.
16. Що таке структура абразивного інструмента?
17. Які групи структур абразивного інструмента існують?
18. Як позначають зернистість абразивного інструмента?
19. Яке повинно бути співвідношення між твердістю абразивного інструмента і оброблюваної деталі?
20. Для чого виконують правку абразивного інструмента і як?

Частина ІХ

КОДУВАННЯ ІНСТРУМЕНТА

23 ВЛАСТИВОСТІ МАТЕРІАЛІВ

23.1 Твердість

Твердість

Це здатність матеріалу чинити опір проникненню в нього тіла, котре не має залишкових деформацій.

У промисловості існує багато методів вимірювання твердості. Однак, рекомендації щодо призначення певних режимів різання, зазвичай, пов'язані із значенням твердості визначеній в якихось конкретних одиницях.

Правило 23.1 (Твердість)

Перед вибором режимів різання доцільно визначити для якої твердості оброблюваного матеріалу вони рекомендовані.

Зазвичай, у металообробленні застосовують твердість виміряну за Бринелем та за Роквеллом¹.

23.1.1 Твердість за Бринелем

Твердість за Бринелем визначають вдавлуванням сталевोї (загартованої) кульки діаметром D у поверхню досліджуваного зразка металу. Мірою твердості за Бринелем є параметр HB

$$HB = \frac{P}{F}$$

де HB – міра твердості за Бринелем;

P – зусилля з яким кулька вдавлювалась у зразок, кг;

F – площа сферичного відбитка сталевोї кульки на досліджуваному зразку, мм².

¹На жаль, для обох методів (Бринеля та Роквелла) розрахункові формули, наведені в різних довідниках, дещо різняться між собою.

У практиці чисельне значення твердості за Бринелем розраховують за формулою:

$$HB = \frac{P}{D^2} \left(\frac{\frac{2}{\pi}}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2}} \right) \text{ кг/мм}^2.$$

де HB – міра твердості за Бринелем;

P – зусилля з яким кулька вдавлювалась у зразок, кг;

D – діаметр кульки, мм;

d – діаметр відбитка кульки на дослідному зразку, мм.

Умови та параметри визначення твердості за Бринелем стандартизовані. Отже, відповідно до стандартів:

- діаметр D кульки становить 10; 5 або 2,5 мм;
- зусилля P вдавлювання кульки становить 3000; 1000 або 500 кг;
- діаметр d відбитка повинен знаходитись у межах від $0,2D$ до $0,6D$ тобто $0,2D < d < 0,6D$.

Також, залежно від товщини Δ сталевго зразка, користуються кулькою діаметром D та зусиллям P навантаження:

Δ , мм	D , мм	P , кг
до 3*	2,5	187
3–6	5	750
більш 6	10	3000

* – не рекомендовано

Приклад 23.1 (Твердість за Бринелем)

Визначити твердість сталевго зразка за Бринелем.

Вихідний дані:

$P = 3000$ кг зусилля навантаження кульки;

$D = 10$ мм діаметр кульки;

$d = 3,07$ мм діаметр відбитка кульки на зразку.

Рішення:

1. Твердість зразка за Бринелем

$$\begin{aligned} \text{HB} &= \frac{P}{D^2} \left(\frac{\frac{2}{\pi}}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{d}{D}\right)^2}} \right) = \\ &= \frac{3000}{10^2} \left(\frac{\frac{2}{\pi}}{1 - \sqrt{1 - \left(\frac{3,07}{10}\right)^2}} \right) = 395 \text{ кг/мм}^2. \end{aligned}$$

2. За стандартами розмірність твердості кг/мм² не позначають. Отже, зразок має твердість 395 одиниць за Бринелем, або HB 395.

23.1.2 Твердість за Роквеллом

Твердість за Роквеллом визначають по голубині проникнення алмазного конуса в досліджувальний зразок.

Алмазний конус, з кутом 120° та радіусом округлення вершини $0,2 \pm 0,02$ мм, попередню навантажують з силою 10 кг та визначають глибину $h_{\text{п}}$ проникнення конуса. Потім навантаження збільшують до 150 кг і знову визначають глибину $h_{\text{о}}$ проникнення конуса.

За різницею проникнення, при попередньому $h_{\text{п}}$ та остаточному $h_{\text{о}}$ навантаженнях, визначають твердість HRC зразка, яка відображається на шкалі HRC приладу Роквелла

$$\text{HRC} = N - \frac{h_{\text{о}} - h_{\text{п}}}{s}$$

де HRC – твердість матеріалу в одиницях Роквелла;

N – коефіцієнт $N = 100$ для шкали C;

$h_{\text{п}}$ – початкове заглиблення алмазного конуса (у мм)
в зразок при навантаженні 10 кг

$h_{\text{о}}$ – остаточне заглиблення алмазного конуса (у мм)
в зразок при навантаженні 150 кг.

s – коефіцієнт $s = 0,002$ мм.

Приклад 23.2 (Твердість за Роквеллом)

Визначити твердість сталевого зразка за Роквеллом.

Вихідний дані:

$N = 100$ коефіцієнт;

$h_n = 0,04$ мм заглиблення алмазного конусу при навантаженні 10 кг;

$h_o = 0,12$ мм заглиблення алмазного конусу при навантаженні 150 кг;

$s = 0,002$ мм коефіцієнт.

Рішення:

1. Твердість за Роквеллом

$$\text{HRC} = N - \frac{h_o - h_n}{s} = 100 - \frac{0,12 - 0,04}{0,002} = 60.$$

2. Отже, твердість матеріалу за Роквеллом HRC 60.

23.1.3 Співвідношення твердості

Твердість виражена в одиницях Бринеля не має нічого спільного з одиницями Роквелла. Але між ними існує приблизна залежність

$$\text{HB} = \frac{25\,000 - 10(57 - \text{HRC})^2}{100 - \text{HRC}}$$

де HB – твердість в одиницях Бринеля;

HRC – твердість в одиницях Роквелла.

Приклад 23.3 (Твердість Бринель/Роквелл)

Маючи значення твердості матеріалу за Роквеллом, визначити твердість за Бринелем.

Вихідний дані:

HRC 32 твердість зразка за Роквеллом.

Рішення:

1. Розраховуємо твердість за Бринелем

$$\text{HB} = \frac{25\,000 - 10(57 - \text{HRC})^2}{100 - \text{HRC}} = \frac{25\,000 - 10(57 - 32)^2}{100 - 32} = 276$$

2. Отже, твердість зразка за Роквеллом становить HRC 276 одиниць.

Для полегшення переводу твердості між різними одиницями можливо скористатись таблицею²

σ , кг/мм^2	H/мм^2	HB	HRC
26	255	76	–
27	270	81	–
29	285	85	–
31	305	91	–
33	320	95	–
36	350	105	–
39	385	114	–
42	415	124	–
46	450	133	–
49	480	143	–
52	510	152	–
56	545	162	–
59	575	171	–
62	610	181	–
65	640	190	–
67	660	195	–
69	675	199	–
70	690	204	–
72	705	209	–
73	720	214	–
75	740	219	–
78	770	228	20,3
92	800	238	22,2
84	820	242	23,1
85	835	247	24,0
86	850	252	24,8
88	865	257	25,6
92	900	266	27,1
95	930	276	28,5
97	950	580	29,2
98	965	285	29,8
101	995	295	31,0
105	1030	304	32,1

Продовження на наступній сторінці

²В літературі існує досить багато подібних таблиць, але всі вони трохи відрізняються одна від одної. Наведена таблиця взята із стандартів DIN.

Продовження табл.

σ , кг/мм ²	H/мм ²	HB	HRC
108	1060	314	33,3
112	1095	323	34,4
115	1125	333	35,5
118	1155	342	36,6
121	1190	352	37,7
124	1220	361	38,8
128	1255	371	39,8
132	1290	380	40,8
135	1320	390	41,8
138	1350	399	42,7
141	1385	409	43,6
145	1420	418	44,5
151	1485	437	46,1
162	1595	–	48,4
170	1665	–	49,8
177	1740	–	51,1
185	1810	–	52,3
192	1880	–	53,6
199	1955	–	54,7
207	2030	–	55,7
215	2105	–	56,8
222	2180	–	57,8

23.2 Оброблюваність

Безумовно, твердість оброблюваного матеріалу впливає на процес оброблення, але на жаль є ще багато факторів, котрі також впливають на процес різання. Тому було введено поняття про “оброблюваність” матеріалу.

Оброблюваність

Це властивість матеріалу піддаватись зрізуванню припуску. Оброблюваність матеріалу визначають у порівнянні з якимось іншим, прийнятим за еталон матеріалом.

Методів визначення оброблюваності багато, але найпоширенішим (і достатньо надійним) є метод свердління. Його суть така.

1. Зразок еталонного матеріалу свердлять під постійним осьовим навантаженням (автоматична подача відключена).

2. Визначають глибину L_e просвердленого отвору (еталонну) за певних час.

3. Далі свердлять дослідний зразок при тих же умовах і визначають глибину L_d отвору за той же час.

4. Критерієм оброблюваності є відношення

$$Q = \frac{L_d}{L_e}.$$

Приклад 23.4 (Оброблюваність)

Порівняти оброблюваність двох матеріалів методом свердління.

Вихідний дані:

$L_e = 12$ мм глибина еталонного отвору;

$L_d = 10,3$ мм глибина дослідного отвору.

Рішення:

1. Оброблюваність

$$Q = \frac{L_d}{L_e} = \frac{10,3}{12} = 0,86.$$

2. Отже, оброблюваність дослідного матеріалу становить 0,86 (або 86%) від еталонного. Кажуть, оброблюваність матеріалу становить 86 відсотків від еталонного.

3. За еталонний матеріал приймають матеріал, що має середні властивості у даній групі матеріалів. Для сталі це зазвичай конструкційна сталь марки – сталь 45.

23.3 Математичні залежності

Швидкість різання

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \text{ м/хв}$$

де v – швидкість різання, м/хв;

D – діаметр деталі, мм;

n – частота обертання, об/хв.

Частота обертання

$$n = \frac{v1000}{\pi D} \text{ об/хв}$$

де n – частота обертання, об/хв;
 v – частота обертання, об/хв;
 D – діаметр деталі, мм.

Подача

$$s_{\text{хв}} = nZs_z \text{ мм/хв} \qquad s_z = \frac{s_{\text{хв}}}{nZ} \text{ мм/зуб}$$

де $s_{\text{хв}}$ – подача хвилинна, мм/хв;
 s_z – подача на зуб, мм/зуб;
 n – частота обертання, об/хв;
 Z – кількість зубів різального інструмента.

23.4 Питання для самоконтролю

1. Дайте визначення терміну “твердість” матеріалу.
2. Як визначають твердість матеріалу за методом Бринеля?
3. Як визначають твердість матеріалу за методом Роквелла?
4. Чи співпадають числові значення твердості за Бринелем і Роквеллом?
5. Опишіть методику визначення оброблюваності методом свердління.
6. Чи можливо перевести числові показники твердості між різними системами?
7. Який діаметр металевої кульки застосовують під час визначення твердості за Бринелем?
8. Переведіть твердість за Бринелем у твердість за Роквеллом.
9. Переведіть твердість за Роквеллом у твердість за Бринелем.

24 МАТЕРІАЛИ

Матеріал цієї частини викладено у відповідності до рекомендацій корпорація Sandvik Coromant (Швейцарія), найбільшого виробника металорізального інструмента в Європі³.

24.1 Оброблюваний матеріал

За стандартами ISO оброблюваний матеріал поділено на групи:

- P – сталь конструкційна;
- M – сталь нержавіюча;
- K – чавун;
- N – матеріали на основі алюмінію та/або міді;
- S – жароміцні та титанові сплави;
- H – загартована сталь, або загартована та відпущена;
- O – пластики.

Кожна група матеріалів має декілька підгруп позначених цифрою. Наприклад, позначення [P1] означає – нелегована сталь $C \leq 0,25\%$, відпалена (HB 125, Rm 428 Н/мм²).

Зауваження 1. Для того щоб відрізнити позначення групи матеріалів від інших умовних позначень, умовне позначення матеріалів беруть у квадратні дужки, наприклад [P1].

Зауваження 2. Інколи групу матеріалів позначають написом ISO над літерним позначенням, наприклад ^{iso}P.

³Під час написання цієї частини були використані матеріали каталогів та довідників (зокрема CoroKey 2010) міжнародної корпорації Sandvik Coromant, що викладені на офіційному сайті компанії www.coromant.sandvik.com.

Сталь конструкційна [P]

- [P1] – нелегована сталь $C \leq 0,25 \%$, відпалена (HB 125, Rm 428 Н/мм²).
- [P2] – нелегована сталь $C > 0,25 \dots \leq 0,55 \%$, відпалена (HB 190, Rm 639 Н/мм²).
- [P3] – нелегована сталь $C > 0,25 \dots \leq 0,55 \%$, покращена (HB 210, Rm 708 Н/мм²).
- [P4] – нелегована сталь $C > 0,55 \%$, відпалена (HB 190, Rm 639 Н/мм²).
- [P5] – нелегована сталь $C > 0,55 \%$, покращена (HB 300, Rm 1013 Н/мм²).
- [P6] – нелегована автоматна сталь (сегментна стружка), відпалена (HB 220, Rm 745 Н/мм²).
- [P7] – низьколегована сталь відпалена (HB 175, Rm 591 Н/мм²).
- [P8] – низьколегована сталь покращена (HB 300, Rm 1013 Н/мм²).
- [P9] – низьколегована сталь покращена (HB 380, Rm 1282 Н/мм²).
- [P10] – низьколегована сталь покращена (HB 430, Rm 1477 Н/мм²).
- [P11] – високолегована сталь та високолегована інструментальна сталь, відпалена (HB 200, Rm 675 Н/мм²).
- [P12] – високолегована сталь та високолегована інструментальна сталь, загартована і відпущена (HB 300, Rm 1013 Н/мм²).
- [P13] – високолегована сталь та високолегована інструментальна сталь, хагартована та відпущена (HB 400, Rm 1361 Н/мм²).
- [P14] – нержавіюча сталь феритна / мартенситна, відпалена (HB 200, Rm 675 Н/мм²).
- [P15] – нержавіюча сталь мартенситна, покращена (HB 330, Rm 1114 Н/мм²).

Сталь нержавіюча [М]

- [M1] – Нержавіюча сталь аустенітна, загартована (HB 200, Rm 675 Н/мм²).
- [M2] – Нержавіюча сталь аустенітна, дисперсійна (PH) (HB 300, Rm 1013 Н/мм²).
- [M3] – Нержавіюча сталь аустенітно-феритна, дуплексна (HB 230, Rm 778 Н/мм²).

Чавун [К]

- [K1] – Ковкий чавун феритний (HB 200, Rm 675 Н/мм²).
- [K2] – Ковкий чавун перлітний (HB 260, Rm 867 Н/мм²).
- [K3] – Сірий чавун низької міцності (HB 180, Rm 602 Н/мм²).
- [K4] – Сірий чавун високої міцності / аустенітний (HB 245, Rm 825 Н/мм²).
- [K5] – Чавун з кулеподібним графітом феритний (HB 155, Rm 518 Н/мм²).
- [K6] – Чавун з кулеподібним графітом перлітний (HB 265, Rm 885 Н/мм²).
- [K7] – Чавун с молекулярним графітом (CGI) (HB 200, Rm 675 Н/мм²).

Алюмінієві та мідні сплави [N]

- [N1] – Алюмінієві ковкі сплави не зміцнені термічною обробкою (HB 30).
- [N2] – Алюмінієві ковкі сплави не зміцнені термічною обробкою (HB 100, Rm 343 Н/мм²).
- [N3] – Алюмінієві ливарні сплави $\leq 12\%$ Si, не зміцнені термічною обробкою (HB 75, Rm 260 Н/мм²).
- [N4] – Алюмінієві ливарні сплави $< 12\%$ Si, зміцнені термічною обробкою (HB 90, Rm 314 Н/мм²).
- [N5] – Алюмінієві ливарні сплави $> 12\%$ Si, не зміцнені термічною обробкою (HB 130, Rm 447 Н/мм²).
- [N6] – Магнієві сплави (HB 70, Rm 250 Н/мм²).

- [N7] – Мідь та мідні сплави (бронза / латунь) нелегована, електролітична мідь (HB 100, Rm 343 Н/мм²).
- [N8] – Мідь та мідні сплави (бронза / латунь) латунь, бронза, червона латунь (HB 90, Rm 314 Н/мм²).
- [N9] – Мідь та мідні сплави (бронза / латунь) мідні сплави, що дають сегментну стружку (HB 110, Rm 382 Н/мм²).
- [N10] – Мідь та мідні сплави (бронза / латунь) високоміцні, сплави Cu-Al-Fe (HB 300, Rm 1013 Н/мм²).

Жароміцні сплави [S]

- [S1] – Жароміцні сплави на основі Fe, відпалені (HB 200, Rm 675 Н/мм²)
- [S2] – Жароміцні сплави на основі Fe, зміцнені (HB 280, Rm 943 Н/мм²).
- [S3] – Жароміцні сплави на основі Ni або Co, відпалені (HB 250, Rm 839 Н/мм²).
- [S4] – Жароміцні сплави на основі Ni або Co, зміцнені (HB 350, Rm 1177 Н/мм²).
- [S5] – Жароміцні сплави на основі Ni або Co, ливарні (HB 320, Rm 1076 Н/мм²).
- [S6] – Титанові сплави чистий титан (HB 200, Rm 675 Н/мм²).
- [S7] – Титанові сплави α - і β -сплави, зміцнені (HB 375, Rm 1262 Н/мм²).
- [S8] – Титанові сплави β -сплави (HB 410, Rm 1396 Н/мм²).
- [S9] – Вольфрамкові сплави (HB 300, Rm 1013 Н/мм²).
- [S10] – Молібденові сплави (HB 300, Rm 1013 Н/мм²).

Загартовані сталі та чавуни [H]

- [H1] – Загартована сталь, загартована і відпущена (твердість HRC 50).

- [H2] – Загартована сталь, загартована і відпущена (твердість HRC 55).
- [H3] – Загартована сталь, загартована і відпущена (твердість HRC 60).
- [H4] – Загартована сталь, загартована і відпущена (твердість HRC 55).

Пластики [O]

- [O1] – Термо-пластики без абразивних включень.
- [O2] – Реакто-пластики без абразивних включень.
- [O3] – Пластмаси, армовані скловолоком GFRP.
- [O4] – Пластмаси, армовані вуглецевим волокном CFRP.
- [O5] – Пластмаси, армовані аридиним волокном AFRP.
- [O6] – Графіт (технічний) (Shore 80).

24.2 Питання для самоконтролю

1. Наведіть прилад маркування (кодування) сталі конструкційної.
2. Наведіть прилад маркування (кодування) сталі нержавіючої.
3. Наведіть прилад маркування (кодування) чавуну.
4. Наведіть прилад маркування (кодування) алюмінію та сплавів на його основі.
5. Наведіть прилад маркування (кодування) сталі жароміцної.
6. Наведіть прилад маркування (кодування) сталі загартованої.
7. Наведіть прилад маркування (кодування) пластиків.

25 ВИДИ ОБРОБЛЕННЯ

Розрізняють три види оброблення різанням, тобто із видаленням стружки.

Чорнове оброблення

Великий об'єм металу, що знімається, і/або робота в тяжких умовах. Комбінація великих глибин різання і подач. Операції, де потрібна висока міцність різальних кромek.

Напівчистове оброблення

Переважає кількість операцій. Від напівчистої до легкої чорнової обробки. Широкий діапазон поєднань глибин різання і величин подач.

Чистове оброблення

Операції з малими глибинами різання і низькими подачами. Невеликі зусилля різання.

Точіння

При точінні застосовують наступні позначення виду оброблення:

- чорнове точіння – **R**;
- напівчистове точіння – **M**;
- чистове точіння – **F**.

Фрезерування

При фрезеруванні застосовують наступні позначення виду оброблення:

- чорнове фрезерування – H;
- напівчистове фрезерування – M;
- чистове фрезерування – L.

Приклад 25.1 (Види оброблення #1)

Показати умовними позначеннями код процесу чорнового точіння сталі.

Відповідь:

Код процесу чорнового точіння сталі –PR.

Пояснення:

- літера “P” відповідає коду сталі;
- літера “R” відповідає коду чорнового оброблення;
- дефіс “–” перед позначенням, означає що позначення відносяться до умов оброблення.

Приклад 25.2 (Види оброблення #2)

Показати умовними позначеннями код процесу чистового фрезерування чавуну.

Відповідь:

Код процесу чистового фрезерування чавуна –KL.

Пояснення:

- літера “K” відповідає коду чавуна;
- літера “L” відповідає коду чистового фрезерування;
- дефіс “–” перед позначенням, означає що позначення відносяться до умов оброблення.

25.1 Умови оброблення

Розрізняють три умовні види оброблення під час точіння або фрезерування (типіві деталі подано на рис. 25.1):

- добрі (гарні) умови (рис. 25.1,а);
- нормальні умови (рис. 25.1,б);
- важкі умови (рис. 25.1,в).

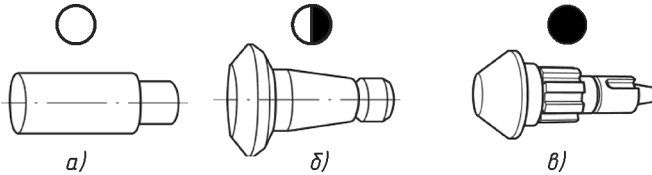


Рис. 25.1. Умови оброблення
[Sandvik Coromant]

Добрі умови

Безперервне різання. Високі швидкості. Заздалегідь оброблена заготовка. Дуже жорстке закріплення. Невеликий виліт інструмента та деталі.

Нормальні умови

Контурна обробка. Помірні швидкості різання. Відливання і поковки. Жорстке закріплення деталі.

Важкі умови

Переривчасте різання. Низькі швидкості. Груба кірка на литві і поковках. Нежорстке закріплення деталі.

Зауваження. Поділ умов оброблення носить досить умовний характер. Все залежить від рівня оснащення підприємства. Адже те, що в умовах одного підприємства є важким, в умовах іншого може бути звичайним.

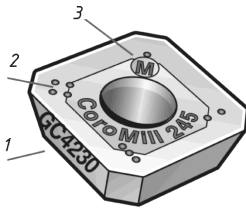
25.2 Питання для самоконтролю

1. Наведіть приклади кодування чорнового точіння.
2. Наведіть приклади кодування чистового точіння.
3. Наведіть приклади кодування чорнового фрезерування.
4. Наведіть приклади кодування чистового фрезерування.

26 МАРКУВАННЯ ПЛАСТИН

На змінному різальному елементі (змінні різальні пластини, або просто змінні пластини) маркують їх основні геометричні параметри та орієнтовну галузь застосування. Зазвичай, при маркуванні позначають такі параметри:

- геометричні параметри кутів;
- радіус при вершині;
- галузь застосування (для якого матеріалу краще застосовувати);
- марка матеріалу з якого виготовлена пластина.



- 1 – марка матеріалу пластини;
- 2 – номер різальної кромки (в даному випадку – четверта);
- 3 – галузь застосування (М – напівчистове оброблення).

26.1 Точіння

26.1.1 Маркування інструмента

Нижче наведена система маркування різальних елементів (пластин) та державок токарного інструмента відповідно до міжнародного стандарту ISO 1832-1991.

Пластини

Маркування різальних елементів (пластин) складається з послідовного позначення таких елементів (рис. 26.1):

- форма пластини 1;
- параметри заднього кута 2;

- допуски на різальний елемент 3;
- тип пластини 4;
- розміри пластини 5–7;
- та призначення пластини (галузь застосування) 8.

C	N	M	G	09	03	08	-	PF
1	2	3	4	5	6	7		8

Рис. 26.1. Маркування пластин

Форма пластини

Код форми пластини за рис. 26.2 займає 1 позицію рис. 26.1.

80° C	55° D	 R	 S	 T	35° V	80° W
---------------------	---------------------	--------------	--------------	--------------	---------------------	---------------------

Рис. 26.2. Форма пластин

Параметри заднього кута

Код величини заднього кута за рис. 26.3 займає 2 позицію рис. 26.1.

 B	 C	 N
--------------	--------------	--------------

Рис. 26.3. Задній кут пластини

Тип пластини

Код типу пластини за рис. 26.4 займає 4 позицію рис. 26.1.

A	G
M	T

Рис. 26.4. Тип пластини

Розмір пластини

Код розміру пластини складається з трьох складових:

- довжини різальної кромки (позиція 5 рис. 26.1);
- товщини (висоти) пластинки (позиція 6 рис. 26.1);
- радіусу при вершині (позиція 7 рис. 26.1).

Довжина різальної кромки

Довжину різальної кромки (рис. 26.5) вказують безпосередньо у міліметрах

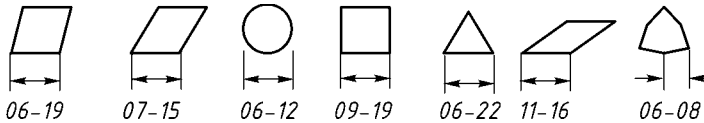


Рис. 26.5. Розмір пластини

Радіус при вершині

Радіус округлення при вершині різальної пластини (рис. 26.6) вказують безпосередньо у міліметрах

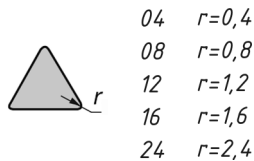


Рис. 26.6. Радіус при вершині

Корпорація Sandik Coromant рекомендує такі величини радіусу r при вершині різця залежно від типу оброблення:

Тип оброблення	r , мм	Код
чорнове	1,2	12
напівчистове.....	0,8	08
чистове.....	0,8	08

Галузь застосування

Код галузі застосування це два останні символи. Вони складаються з кодового позначення:

- коду оброблюваного матеріалу (сталь, чавун та ін.);
- та коду типу оброблення (чорнове, напівчистове, чистове).

Приклад 26.1 (Маркування пластини)

Маємо таке маркування різальної пластини

CNMG 090308 – PF

де

- C – форма пластини – ромб з кутом 80°;
- N – задній кут 0°;
- M – код допусків на розміри пластини;
- G – тип пластини – двосторонній з канавками;
- 09 – довжина різальної кромки 9 мм;
- 03 – товщина пластини 3 мм;
- 08 – радіус при вершині 0,8 мм;
- PF – призначення – сталь (P), чистове оброблення (F).

Державки

Маркування державок товарного інструмента складається з послідовного позначення таких елементів рис. 26.7:

- система кріплення 1;
- форма пластини 2;
- тип державки 3;
- величина заднього кута 4;
- виконання 5;
- висота державки 6;
- ширина хвостовика 7;
- довжина державки 7;
- довжина різальної кромки 9.

D	C	L	N	R	16	16	H	-	09
1	2	3	4	5	6	7	8		9

Рис. 26.7. Маркування державок

Система кріплення

Застосовують такі системи кріплення різальної пластини у корпусі державки (рис. 26.8)

- C* – кріплення зверху притискачем;
- D* – кріплення підвищеної жорсткості;
- M* – кріплення зверху з тиском за отвір;
- P* – кріплення важелем за отвір;
- S* – кріплення гвинтом.

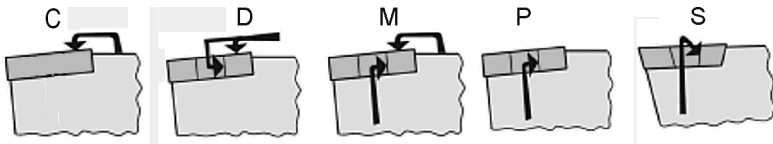


Рис. 26.8. Типи кріплення пластин
[Sandvik Coromant]

Тип C

Застосовують для кріплення гладких пластин з додатнім та від'ємним переднім кутом. Наявність накладного стружколаму дозволяє його регулювання залежно від режимів оброблення. Застосовувать при зовнішньому обробленні

Тип D

Одночасний затиск по отвору за притискачем зверху. Має високу надійність кріплення пластини. Застосовують на всіх типах операцій оброблення, на важких чорнових операціях. Конкурує з типом M

Тип M

Має підвищену надійність кріплення пластини. Застосовують на всіх типах операцій оброблення, особливо на важких чорнових операціях.

Тип P

Застосовують на чорнових та напівчистових операціях при наявності важкодоступних місць. Забезпечує вільний схід стружки у будь-якому напрямі.

Тип S

Застосовують на операціях зовнішнього та внутрішнього оброблення у важкодоступних місцях. Має мінімальну кількість кріпильних елементів, Забезпечує безперешкодний збіг стружки. Поширена при фасонному тоцінні.

Форма пластини

Система кодування форми пластини така ж сама, як для кодування різальних пластин за рис. 26.2.

Задній кут

Система кодування величини заднього кута така ж сама, як і при кодуванні різальних пластин за рис. 26.3.

Виконання

Залежно від виконання різців (рис. 26.9) їх поділяють на:

- різці лівого виконання (ліві різці) L;
- різці нейтральні N (можуть різати в обидві сторони);
- різці правого виконання (праві різці) R.

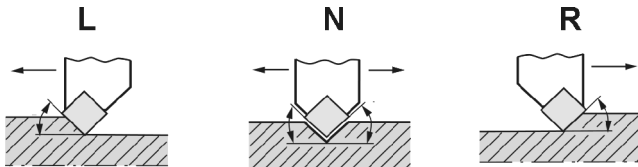


Рис. 26.9. Виконання різців
[Sandvik Coromant]

Висота державки

Висоту державки (оправки) різця вказують безпосередньо у міліметрах відповідно до стандартного розміру.

Ширина хвостовика

Ширину державки (оправки) різця вказують безпосередньо у міліметрах відповідно до стандартного розміру.

Довжина державки

Код довжини державки вказують відповідною літерою



H = 100	S = 250
K = 125	T = 300
M = 150	U = 350
P = 170	V = 400
Q = 180	W = 450
R = 200	Y = 500

Довжина різальної кромки

Довжину різальної кромки різальної пластини вказують безпосередньо у міліметрах так же як і для різальних пластин (рис. 26.5).

Приклад 26.2 (Маркування державки)

Маємо таке маркування державки токарного різця

DCLNR 1616H 09

де

- D – система кріплення пластини;
- C – форма різальної пластини;
- L – тип державки;
- N – задній кут 0° ;
- R – виконання для правостороннього різання;
- 16 – висота державки 16 мм;
- 16 – ширина державки 16 мм;
- 09 – довжина різальної кромки 9 мм.

26.1.2 Зачисні пластини

Зачисні пластини Wiper – це інноваційні високопродуктивні пластини для напівчистої і чистої обробки (рис. 26.10). Завдяки незначній зміні радіуса при вершині пластини, можливе збільшення подачі в 2 рази при незмінній чистоті обробки.

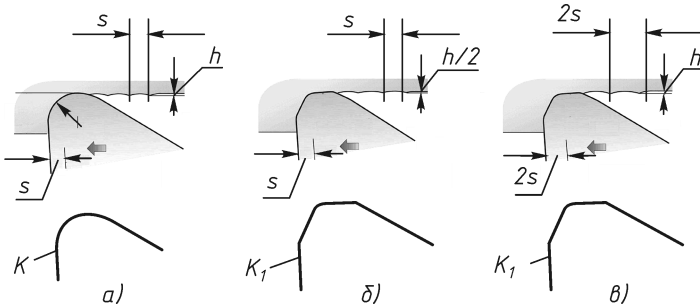


Рис. 26.10. Зачисні пластини

Стандартна різальна пластина має радіус округлення r різальної кромки K при вершині (рис. 26.10,а). Під час різання така пластина, рухаючись з подачею s , залишає на поверхні деталі гребінці висотою h . Отже, величина подачі обмежена шорсткістю поверхні.

Зачисна пластина має невелику прямолінійну (або дугоподібну) ділянку при вершині різальної кромки K_1 пластини (рис. 26.10,б). Через це, при незмінній подачі s , маємо зменшену (приблизно у двічі) висоту гребінців $h/2$.

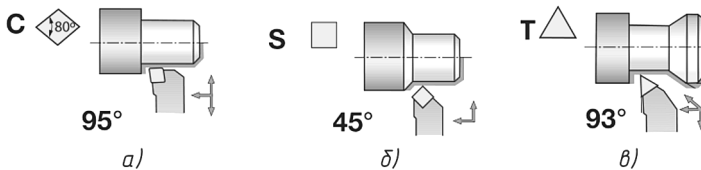
Отже, при застосуванні зачисної пластини можливо збільшити подачу приблизно у двічі, не перевищивши при цьому висоту h гребінців обробленої поверхні (рис. 26.10,в).

26.1.3 Призначення пластин

Застосування пластин різної форми залежить від типу технологічної операції. Нижче наведено декілька прикладів застосування пластин залежно від операції оброблення.

Зовнішнє точіння

Основні типи операцій зовнішнього точіння представлені на рис. 26.11.

Рис. 26.11. Зовнішня обробка
[Sandvik Coromant]

Точіння з підрізанням торця

При точінні торця (рис. 26.11,а) застосовують пластину типу *C* з кутом 85° при вершині. Це дає можливість мати кут у плані більший за 90° . Зазвичай пластину розташовують таким чином, щоб кут у плані становив 95° .

Точінні на прохід

При точінні на прохід застосовують квадратну пластину типу *S*, що дає можливість забезпечити кут у плані рівний 45° .

Точіння виточки

У разі, коли необхідно утворити виточку (рис. 26.11,в), доцільно застосовувати трикутну пластину типу *T*.

Внутрішнє точіння

Основні типи операцій внутрішнього точіння представлені на рис. 26.12.

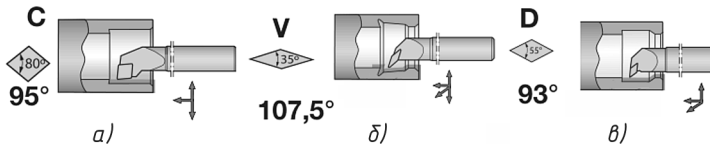


Рис. 26.12. Внутрішня обробка
[Sandvik Coromant]

Розточування

При простому розточуванні отвору (рис. 26.12,а) доцільно застосовувати чотиригранну пластину типу *C*, що дає змогу забезпечити кут у плані рівний 95° .

Виточка з канавкою

У випадку необхідності отриманні додаткової канавки (рис. 26.12,б) доцільно застосовувати пластину типу *V*.

Проста виточка

Застосування пластин типу *D* забезпечує оброблення простих виточок.

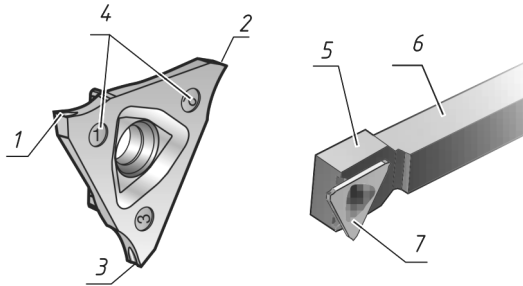


Рис. 26.13. Канавковий різець
[Sandvik Coromant]

- 1 – перша різальна кромка;
- 2 – друга різальна кромка;
- 3 – третя різальна крока;
- 4 – номери різальних кромок;
- 5 – робоча частина різця;
- 6 – оправка (державка) різця;
- 7 – змінна різальна пластина.

26.1.4 Відрізання

Відрізка це специфічна операція, основною ознакою якої є наявність тільки радіальної подачі. Розрізняють утворення неглибоких канавок та відрізка.

Неглибокі канавки

При утворенні неглибоких канавок ширина різця (різальної пластини) дорівнює ширині канавки. У сучасному інструментальному виробництві, для операції утворення неглибоких канавок, застосовують тригранні пластини вертикального розташування (рис. 26.13).

Так пластина має три різальні кромки, її ширина (товщина пластинки) дорівнює ширині канавки.

Глибокі канавки та відрізка

Для утворення глибоких канавок або відрізки деталі застосовують відрізні пластини (рис. 26.14).

Відрізні пластини мають дві робочі сторони (частини) 10. Між прямими різальними кромками 3 розташована лунка 4 призначена для подрібнення стружки.

Пластину затискають в оправку за допомогою притискача 7 та

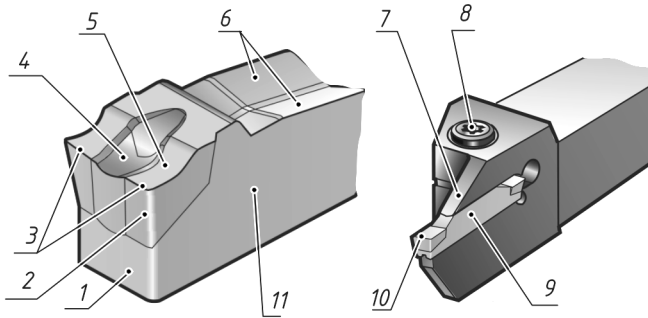


Рис. 26.14. Відрізний різець
[Sandvik Coromant]

- 1 – задні поверхня пластинки (не різальна);
- 2 – задня різальна поверхня пластини;
- 3 – дві прямолінійні різальні кромки;
- 4 – лунка на передній поверхні (для подрібнення стружки);
- 5 – передня вгнута (для подрібнення стружки) різальна поверхня;
- 6 – клиноподібна поверхня для закріплення пластини в державці;
- 7 – притискач, що затискає пластину на поверхні 6;
- 8 – гвинт притискний;
- 9 – змінна пластина у державці;
- 10 – різальна частина пластини;
- 11 – змінна різальна пластина (бокова сторона).

гвинта 8. Така конструкція забезпечує одночасно надійність кріплення та легкість зміни пластини. Ширина канавок стандартизована, відповідно до них ширина пластинок теж стандартизована.

26.1.5 Нарізування різьби

Змінні пластини для утворенні різьби бувають двох типів:

- звичайні (звичайні геометричні параметри);
- та продуктивні (спеціальна форма передньої поверхні).

Звичайні пластини

Різьбові пластини (рис. 26.15,а) із звичайними геометричними параметрами рекомендується для обробки матеріалів, не схильних до налипання або зміцнення при обробці. Це утворення різьб на деталях, що виготовлені із звичайних конструкційних сталей.

Продуктивні пластини

Різьбові пластини із фасонними параметрами (рис. 26.15,б) рекомендуються для низько-вуглецевих і низьколегованих сталей. Фасонна форма передньої поверхні забезпечує стабільне подрібненню стружки.

26.2 Фрезерування

26.2.1 Галузь застосування

Код галузі застосування при фрезеруванні наступний:

- Н** – важке фрезерування. Робота з максимальною швидкістю знімання або в тяжких умовах. Великі глибини різання і подачі. Потрібна максимальна надійність різальної кромки.
- М** – фрезерування з середніми навантаженнями. Більшість випадків фрезерування. Напівчистова або чорнова обробка. Середні глибини різання і подачі.
- L** – фрезерування в легких умовах. Невеликі глибини різання і подачі. Операції, що супроводжуються малими зусиллями різання.

Треба враховувати, що для кожного типу фрез – свої поняття умов (важке/легке) та своя галузь застосування.

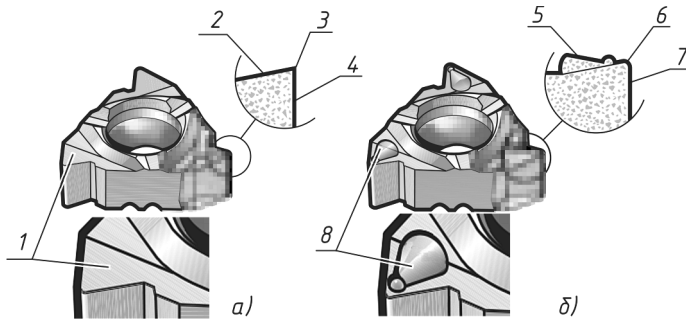


Рис. 26.15. Різьбова пластина
[Sandvik Coromant]

- a* – різьбова пластина звичайної геометрії;
- б* – різьбова пластина продуктивної (фасонної геометрії передньої поверхні);
- 1 – плоска передні різальна поверхня;
- 2 – передні поверхня (плоска);
- 3 – гостра різальна кромка;
- 4 – задня поверхня різальна;
- 5 – фасонна передня різальна поверхня;
- 6 – округлена різальна кромка;
- 7 – задня поверхня;
- 8 – фасонна передня різальна поверхня.

26.2.2 Тип інструмента

Кількість зубців

Кількість різальних елементів торцевих фрез (рис. 26.16) регламентують їх кутовим кроком за наступними правилами.

Великий крок [код L]

Зменшена кількість різальних пластин (рис. 26.16,а). Змінний крок для продуктивної обробки при недостатній потужності верстата або жорсткості системи, що несе.

Середній крок [код M]

Більшість фрезерних операцій.

Малий (частий) крок [код H]

Максимальна кількість пластин для високопродуктивного фрезерування при високій жорсткості системи ВПІД. Для обробки матеріалів, що утворюють елементну стружку. Для обробки жароміцних сплавів.

Дуже малий крок [код НХ]

Чистова обробка при високій жорсткості системи ВПІД, коли потрібна мала шорсткість обробленої поверхні.

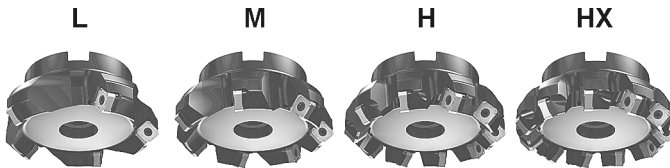


Рис. 26.16. Кількість зубців
[Sandvik Coromant]

Кут у плані

Величина кута у плані (рис. 26.17) під час фрезерування має значний вплив на розподіл зусиль різання. Його величину доцільно приймати враховуючи оброблювану деталь та режими різання.

Кут у плані 90°

Обробка тонкостінних заготовок. Нежорстке закріплення заготовки. Обробка прямокутних уступів.

Кут у плані 45°

Для операцій загального призначення. Зменшення вібрацій при великих вильотах інструмента. Зменшення товщини стружки дозволяє підвищити продуктивність.

Фреза з круглими пластинами

Міцні різальні пластини з можливістю багаторазової фіксації (пластину можливо обертати навколо її осі). Фрези загального призначення. Зменшення товщини стружки сприятливо впливає на обробку жароміцних сплавів.

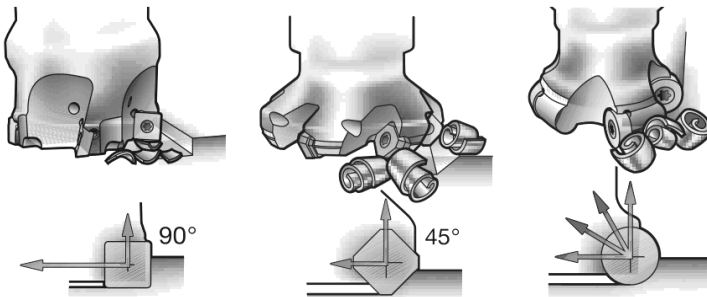


Рис. 26.17. Кут у плані
[Sandvik Coromant]

Геометрія пластини

При фрезеруванні найбільший вплив на процес різання має форма передньої поверхні різального елемента. Залежно від умов оброблення розрізняють три геометрії різальних пластин (рис. 26.18). Кожну з них доцільно використовувати у конкретних умовах, до яких вона призначена.

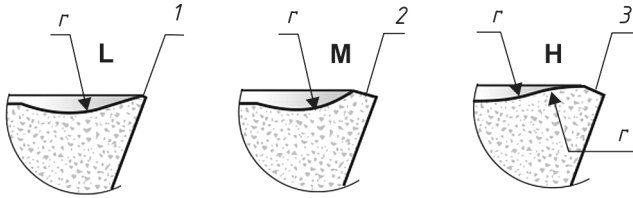


Рис. 26.18. Геометрія пластинок
[Sandvik Coromant]

Легка [L]

Гостра різальна кромка з додатними кутами. Стабільний процес різання. Малі подачі. Низька споживана потужність. Не-великі зусилля різання.

Пластинка геометрії *L* має передню поверхню окреслену дугою r та гостру різальну кромку *1*. Завдяки таким геометричним параметрам, різальний елемент досить легко зрізує тонкі шари припуску на оброблення. Однак така конструкція має недостатньо міцну різальну кромку, через що на чорнових операція різальна кромка досить часто руйнується.

Середня [M]

Найчастіше вживана позитивна геометрія. Середні величини подач.

Пластинка геометрії *M* має передню поверхню окреслену дугою r та невелику фаску *2* вздовж різальної кромки. Наявність фаски *2* збільшує міцність різальної кромки і тому така пластинка може працювати у більшості випадків оброблення. Це геометричні параметри загального застосування.

Важка [H]

Найбільша надійність різальної кромки. Великі подачі.

Пластинка геометрії *H* має передню поверхню окреслену двома дугами та фаску *3* вздовж різальної кромки. Така геометрична форма передньої поверхні забезпечує підвищену міцність різального елемента. Тому її застосовують у випадках чорнового оброблення із значними припусками та під час фрезеруванні по кінці від литва.

26.2.3 Рекомендації щодо фрезерування

Загальні рекомендації щодо фрезерування можливо сформулювати таким чином:

- застосовувати фрези з дрібним кроком (код H) і пластини з геометрією L ;
- для отримання хорошої якості поверхні призначити подачу приблизно $s_z = 0,08$ мм/зуб та глибину різання $t = 0,7 \dots 0,8$ мм (початкові значення);
- найкраща якість поверхні може бути досягнута при швидкості різання $300 \dots 400$ м/мін, а також при подачі на оберт, що не перевищує 70% від довжини зачисної фаски⁴.
- не рекомендується застосовувати охолодження⁵.

26.3 Свердлування

Залежно від вимог до операції свердлування застосовують різні типи свердел:

- цільні (рис. 26.19,а) для малих величин допусків на оброблюваний отвір та підвищену шорсткість його поверхонь;
- збірні (рис. 26.19,б) для максимальної продуктивності та економичності.

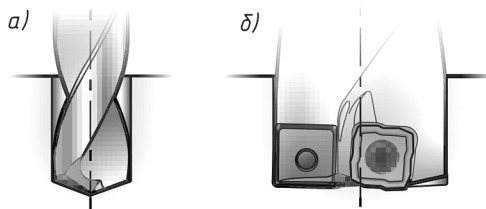


Рис. 26.19. Вибір типу свердла
[Sandvik Coromant]

⁴Фаска, що орієнтована паралельно руху подачі.

⁵Фрезерування це процес переривчастого різання. Отже, різальна кромка по чергово розігрівається та охолоджується, результат – теплові удари і руйнація кромки.

Якість свердлування

Одне і теж свердло може утворити різні за характеристиками отвори. Все залежить від зовнішніх факторів.

Для отримання високоякісних отворів з високою продуктивністю, необхідно забезпечити максимальну жорсткість системи свердло-верстат-заготовка. У разі виникнення вібрацій якість свердління і стійкість інструмента знижуватимуться.

Правило 26.1 (Свердлування, жорсткість)

Жорсткість системи ВПІД, від деталі до шпинделя верстата, значною мірою впливає на роботу свердел.

Важливим чинником якісного свердління є центрування свердла. Неспіввісність свердла і деталі, що обертається, є причиною поломок і низької якості свердління.

Правило 26.2 (Свердлування, совісність)

Неспіввісність свердла і заготовки, що обертається, не повинна перевищувати 0,02 ... 0,03 мм.

Охолоджувальна рідина

Для того, щоб повністю використовувати можливості свердел за найбільшою швидкістю різання і подачі, необхідно ефективно видаляти стружку з оброблюваного отвору, але це може бути зроблено тільки із застосуванням охолоджувальної рідини.

Охолоджувальна рідина може подаватися в зону різання потоком зовні, або через тіло інструмента. Треба враховувати, що під час свердління отвору глибше 2–3 його діаметра, охолоджувальна рідина майже не досягає зони різання. Тому, для гарантованого проникнення рідини в зону різання, доцільно використовувати свердла з подачею рідини через тіло інструмента.

Витрата охолоджувальної рідини залежить від розмірів свердла, а також від тиску подаючого насоса.

На діаграмі за рис. 26.20 показані орієнтовні дані витрати ЗОР. Кіль-

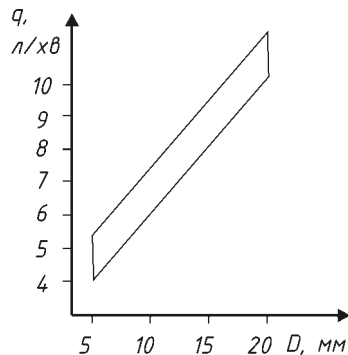


Рис. 26.20. Витрата ЗОР

кість охолоджувальної рідини q , що подається, за об'ємом в л/хв повинна відповідати діаметру D свердла в мм.

Правило 26.3 (Свердлування, ЗОР)

Стружка не має бути синього або коричневого кольору. Вона повинна мати сірий колір – колір металу, що обробляють.

Загалом, кількість q охолоджувальної рідини, залежно від діаметру D свердла, можливо розрахувати за формулою

$$q = 0,43D + 2.3$$

де q – витрати охолоджувальної рідини, л/хв;

D – діаметр свердла.

Технологічні можливості

При роботі стандартним спіральним свердлом на токарному верстаті, необхідно забезпечити співвісність свердла і осі шпинделя.

У той же час нерухоме свердло оснащено змінними різальними пластинами може обробити фаску на вході отвору (рис.26.21) і просвердлити його за один прохід.

Такі свердла також можуть виготовляти отвори діаметром більше номінального діаметру свердла.

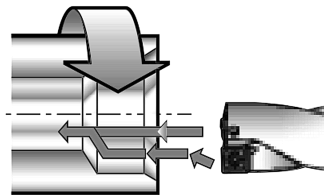


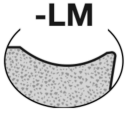
Рис. 26.21. Утворення фаски
[Sandvik Coromant]

Зауваження. При роботі нерухомим свердлом на виході свердла з наскрізного отвору в деталі, що обертається, утворюється диск, який може вилетіти з патрона і нанести ушкодження і травми. Щоб цього не сталося – слід використовувати відповідне обгороджування.

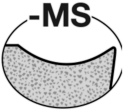
26.3.1 Геометричні параметри

Вибір геометричних параметрів різальної частини свердла залежить від багатьох факторів. Однак найголовнішим є форма передньої поверхні. Нижче подані основні рекомендації з вибору геометричних параметрів свердел⁶.

⁶За матеріалами корпорації Sandvik Coromant.



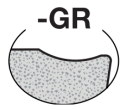
Геометрія LM – перший вибір для матеріалів які при обробленні утворюють довгу цільну стружку. Подача: від низьких до середніх значень.



Геометрія MS. Забезпечує гостру різальну кромку, оптимізовану для обробки матеріалів групи М. Подача: від низьких до середніх значень.



Геометрія GM. Хороші умови обробки. Перший вибір для легких умов різання. Короткий і неглибокий стружколом забезпечує легке утворення стружки в рекомендованій області подач. Невеликий радіус округлення кромки гарантує зниження віджимання свердла в процесі обробки.



Геометрія GR. Нормальні і важкі умови. Перший вибір для сталей і чавунів. Посилені різальні кромки і великий радіус округлення кромки. Подача: від низьких до високих значень.



Геометрія GT. Надважкі умови. Для основних матеріалів у надважких умовах обробки. Додатково посилена різальна кромка. Для нестабільних умов і переривчастого різання. Подача: від низьких до високих значень.

Зауваження. Прийнято вважати, що допустимий знос свердла (стрічка зносу) не повинен перевищувати 0,2 від діаметра свердла⁷.

⁷Отже, для свердла діаметром 20 мм допустима величина зносу становить 0,4 мм.

Загалом, з точки зору економіки – краще (економніше) частіше переточувати інструмент, ніж чекати коли він зламається.

26.4 Питання для самоконтролю

1. Наведіть приклад кодування змінного різального елемента.
2. Поясніть, як кодують габаритні розміри змінних різальних елементів.
3. Наведіть ескізи основних систем кріплення змінного різального елемента.
4. Поясніть різницю між зачисними пластинами і звичайними.
5. Наведіть приклад кодування важкого фрезерування.
6. Наведіть приклад кодування фрезерування із середнім навантаженням.
7. Наведіть приклад кодування інструмента з середнім кроком різальних елементів.
8. Як кодувати (маркувати) різальну пластину, що має гостру різальну кромку?
9. Як кодувати пластину, що має фаску з від'ємним нахилом?
10. Як кодують геометричні параметри свердла залежно від їх параметрів?

27 ПРОБЛЕМИ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

27.1 Проблеми точіння

Процес точіння може супроводжуватись виникненням проблем через помилковий вибір інструмента або режимі різання.

Нижче перелічені основні проблеми, що виникають під час точіння та правила (способи) їх вирішення.

Правило 27.1 (Проблема, точіння, знос)

Інтенсивний знос по задній поверхні:

- зменшити швидкість різання;
- вибрати більш зносостійку марку інструментованого матеріалу.

Правило 27.2 (Проблема, точіння, проточини)

Проточин на кромці:

- зменшити швидкість різання;
- вибрати більш зносостійку марку інструментованого матеріалу

Правило 27.3 (Проблема, точіння, лунка)

Утворення лунки на передній поверхні:

- зменшити швидкість різання;
- вибрати більш зносостійку марку інструментованого матеріалу;
- зменшити подачу;
- вибрати пластину з додатною геометрією.

Правило 27.4 (Проблема, точіння, деформація)

Пластична деформація:

- зменшити швидкість різання;
- зменшити подачу;
- вибрати більш зносостійку марку інструментального матеріалу.

Правило 27.5 (Проблема, точіння, наріст)

Утворення наросту:

- збільшити швидкість різання;
- вибрати різальний елемент з додатною геометрією.

Правило 27.6 (Проблема, точіння, тріщини)

Утворення тріщин перпендикулярних до різальної кромки:

- вибрати більш міцний інструментальний матеріал.

Правило 27.7 (Проблема, точіння, викришування)

Викришування різальної кромки:

- збільшити швидкість різання;
- вибрати більш міцний інструментальний матеріал;
- вибрати різальний елемент з додатною геометрією.

Правило 27.8 (Проблема, точіння, поломка)

Поломка змінної пластини:

- зменшити подачу;
- зменшити глибину різання;
- вибрати більш міцний інструментальний матеріал.

Правило 27.9 (Проблема, точіння, стружка)

Довга вита стружка:

- збільшити подачу;
- збільшити глибину різання;
- вибрати інструмент з меншим радіусом при вершині.

Правило 27.10 (Проблема, точіння, коливання)

Коливання:

- зменшити швидкість різання;
- збільшити подачу;
- зменшити глибину різання;
- вибрати інструмент з меншим радіусом при вершині;
- вибрати інструмент з додатною геометрією.

27.2 Проблеми фрезерування

Процес фрезерування може супроводжуватись виникненням проблем через помилковий вибір інструмента або режимі різання.

Нижче перелічені основні проблеми, що виникають під час фрезерування та правила (способи) їх вирішення.

Правило 27.11 (Проблема, фрезерування, знос)

Інтенсивний знос по задній поверхні:

- зменшити швидкість різання;
- збільшити подачу;
- вибрати більш зносостійку марку інструментованого матеріалу.

Правило 27.12 (Проблема, фрезерування, проточини)

Проточин на кромці:

- зменшити швидкість різання;
- збільшити подачу;
- вибрати більш зносостійку марку інструментованого матеріалу;
- відмовитись від охолоджувальної рідини.

Правило 27.13 (Проблема, фрезерування, лунка)

Утворення лунки на передній поверхні:

- зменшити швидкість різання;
- вибрати більш зносостійку марку інструментованого матеріалу.

Правило 27.14 (Проблема, фрезерування, деформація)

Пластична деформація:

- зменшити швидкість різання;
- зменшити подачу;
- вибрати більш зносостійку марку інструментального матеріалу.

Правило 27.15 (Проблема, фрезерування, наріст)

Утворення наросту:

- збільшити швидкість різання;
- збільшити подачу..

Правило 27.16 (Проблема, фрезерування, тріщини)

Утворення тріщин перпендикулярних до різальної кромки:

- зменшити швидкість різання;
- вибрати більш міцний інструментальний матеріал;
- відмовитись від охолоджувальної рідини.

Правило 27.17 (Проблема, фрезерування, викришування)

Викришування різальної кромки:

- збільшити швидкість різання;
- вибрати більш міцний інструментальний матеріал;
- відмовитись від охолоджувальної рідини.

Правило 27.18 (Проблема, фрезерування, поломка)

Поломка змінної пластини:

- зменшити подачу;
- вибрати більш міцний інструментальний матеріал;
- змінити положення фрези відносно заготовки.

Правило 27.19 (Проблема, фрезерування, коливання)

Коливання:

- збільшити подачу;
- застосовувати фрези з меншою кількістю зубів;
- змінити положення фрези відносно заготовки.

Правило 27.20 (Проблема, фрезерування, якість)

Погана якість обробленої поверхні:

- збільшити швидкість різання;
- зменшити подачу.

27.3 Проблеми свердлування

Процес свердлування може супроводжуватись виникненням проблем через помилковий вибір інструмента або режимі різання.

Нижче перелічені основні проблеми, що виникають під час свердлування та правила (способи) їх вирішення.

Правило 27.21 (Проблема, свердлування, поломка)

Поломка різальної частини свердла:

- заново виставити свердло;
- вибрати більш міцний інструментальний матеріал;
- зменшити довжину свердла.

Правило 27.22 (Проблема, свердлування, знос)

Знос по боковій стрічці свердла:

- заново виставити свердло;
- збільшити жорсткість свердла.

Правило 27.23 (Проблема, свердлування, стружка)

Стружка спресована у канавці:

- збільшити подачу охолоджувальної рідини;
- зменшити подачу;
- збільшити швидкість різання.

Правило 27.24 (Проблема, свердлування, коливання)

Коливання:

- зменшити подачу;
- змінити швидкість різання.

Правило 27.25 (Проблема, свердлування, стійкість)

Мала стійкість свердла:

- зменшити подачу;
- збільшити подачу охолоджувальної рідини;
- змінити режими різання.

27.4 Питання для самоконтролю

1. Що необхідно зробити для зменшення інтенсивності зносу під час точіння?
2. Що необхідно зробити для зменшення проточин на різальній кромці?
3. Які причини утворення лунки на передній поверхні різального інструмента?
4. Що необхідно зробити для уникнення наросту?
5. Що необхідно зробити якщо на різальній кромці почалось ви-кришування?
6. Що необхідно зробити для зменшення коливань під час фре-зерування?
7. Що необхідно зробити якщо почалось пакетування стружки у стружковій канавці свердла?
8. Що необхідно зробити для підвищення стійкості свердла?
9. Які причини підвищення температури у зоні різання під час точіння?
10. Які причини виникнення пластичних деформацій різального елемента?

Список літератури

1. Інструменти різальні. Терміни та визначення. ДСТУ 2233-93. // Український державний проектно-технологічний інститут "Укрор-гверстатігнрам" Міністерства машинобудування, військового про-мислового комплексу та конверсії України, 1993. – 16 с.
2. Малов А. Н. Краткий справочник металлиста / А. Н. Малов, А. И. Якушев, В. П. Законников // . – М.: Машиностроение, 1972. – 767 с.
3. Лоскутов В. В. Шлифование металлов / В. В. Лоскутов. – М.: Машиностроение, 1970. – 264 с.
4. Мазур Н. П. Основы теории резания материалов / Н. П. Мазур, Ю. Н. Внуков, А. И. Грабченко и др. // под общ. ред. Н. П. Ма-зура и А. И. Грабченко. – 2-е изд., перераб. и дополн. – Харьков : НТУ "ХПИ", 2013. – 534 с.
5. Кривоухов В. А. Резание конструкционных материалов, режущие инструменты станки / В. А. Кривоухов, П. Г. Петруха, Б. Е. Бруштейн та ін. // – М.: Машиностроение, 1974. – 618 с.
6. Родин П. Р. Основы проектирования режущих инструментов / П. Р. Родин. – Киев: Вища шк., 1990. – 423 с.
7. Климов В. И. Справочник конструктора инструментальщика / В. И. Климов, А. С. Лернер, М. Д. Пекарский и др. // – М.: МАШГИЗ, 1958. – 608 с.
8. Старков В. К. Физика и оптимизация резания материалов / В. К. Старков. – М.: Машиностроение, 2009. – 640 с.